Der Wind als pflanzenpathologischer Faktor.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der philosophischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.

Von

Oskar Bernbeck

aus München.

Promoviert am 6. August 1907.

Stuttgart 1907.

Berichterstatter:

Geheimer Regierungsrat **Professor Dr. Strasburger.**

Hofbuchdr. C. Liebich, Stuttgart.

Meiner lieben Mutter

in Verehrung

gewidmet.

Inhalt.

Einleitung.

Das Vorhandensein gewisser Beziehungen zwischen Wind und Pflanzenwelt — insbesondere die rein mechanische Beeinflussung hochwachsender Pflanzen durch stärkere Luftströme — ist eine in weitesten Kreisen bekannte Tatsache. Ist es doch in unseren Breiten eine häufige Erscheinung, daß Bäume — einzeln oder in Massen — durch Stürme gebrochen oder geworfen werden, und es wird diese Gefahr durch die Forstverwaltungen so hoch eingeschätzt, daß bei Waldeinteilung und Bewirtschaftung in der Regel alle übrigen Rücksichten gegenüber einer möglichen Sturmgefahr zurücktreten.

Abgesehen von dieser Einwirkung extrem starker Luftbewegung auf baumartige Pflanzen war bis weit über die Mitte des vergangenen Jahrhunderts hinaus äußerst wenig über die Einflußnahme von Wind auf Wachstum und Leben der Pflanzen überhaupt bekannt; in Anbetracht der relativ unauffällig vor sich gehenden Veränderungen der Pflanze, ihrer Organe und ihres Substrates in bewegter Luft, und besonders durch die Mannigfaltigkeit der Reaktionen, welche alle möglichen Deutungen zuließen, erscheint die geringe Kenntnis über diese Vorgänge sehr verständlich.

Mächtig gefördert wurde unser Wissen über die Wirkung des Windes durch die Ausbildung der Pflanzengeographie. Durch Vergleich der Pflanzen und Pflanzengenossenschaften verschiedener Erdgegenden konnte man auf die Einwirkung der pflanzengeographisch wichtigen Faktoren Schlüsse ziehen. Es konnte z. B. der alte Glaube, die Vegetation in Küstengegenden werde lediglich durch den Salzgehalt der Luft in ihrem Wachstum eigentümlich verändert, durch den Hinweis auf die Ähnlichkeit der Vegetation an Süßwasserseen und auf exponierten Höhen widerlegt werden. (Borggreve.)

So gelangte man auf vergleichendem Wege zur Erkenntnis, daß der Wind ein pflanzengeographischer Faktor sein muß.

Die Art der Einwirkung, die pathogenen Einflüsse des Windes blieben jedoch zum Teil unaufgeklärt, was um so begreiflicher erscheint, wenn man berücksichtigt, daß die physikalischen Vorgänge in der bewegten Atmosphäre sehr kompliziert sind und auch durch die Meteorologie noch keineswegs vollständig erforscht wurden.

Als wirksame Begleiterscheinungen des Windes galten den Botanikern insbesondere

1. Mechanische Angriffe des Windes auf die oberirdischen Sproßteile.

(Vergleiche Rieskohl, Caspary, Borggreve, Strobl, Kihlman, Friedrich, Kohl, Hartz, Buchenau, Storp, Stahl, Jungner, Schimper, Gerhard, Ganong, Büsgen, Warming, Beck, Früh, Rikli, Bernatzky, Helms, Eifert, Heß . . .).

2. Die Erhöhung der Transpiration der Pflanzen beziehungsweise andere Momente, welche den Trockentod oberirdischer Organe bedingen.

(Vgl. Mayen, Friedrich, Kohl, Kihlman, Kerner, Fleischer, Roder, Hartz, Buchenau, Schimper, Göbel, Dalla Torre, Reiche, Ganong, G. Andersson, Massart, Ochsenius, Raunkiär, Büsgen, Warming, Volkens, Früh, Rikli, Hansen, Kearney, Helms, Heß . . .).

3. Kältewirkungen durch Verdunstung oder durch Herbeiführen von kalter Luft.

(Vgl. Mayen, Middendorff, Grisebach, v. Klinggräff, G. Beck, Friedrich, Roder, Warming, Emeis . . .).

4. Transport von Kochsalz.

(Vgl. Riefkohl, Focke, Frischauf, Böhm, Storp, Anderlind, Beck, Heß, Rikli . . .).

5. Austrocknung des Bodens.

(Vgl. Warming, Heß, Emeis . . .).

6. Boden- und Laubverwehung.

(Vgl. Strobl, Warming, Emeis . . .).

7. Verhinderung normaler Zersetzung und Nährstoffbildung im Boden.

(Vgl. Emeis.)

In neuerer Zeit erwarben sich insbesondere die Professoren Warming und Hansen, welche die möglichen Ursachen der Windschäden zu erforschen suchten, und Früh, der für die Hauptwindgebiete der Erde eine gleichsinnige Beeinflussung der Baum- und Strauchformen nachwies, Verdienste um die Kenntnis der Windeinwirkung auf die Vegetation.

Trotzdem stehen sich die Ansichten über die Ursachen der Windschäden auch heute noch fast so schroff gegenüber wie vor 35 Jahren. Dieser Umstand dürfte vielleicht darauf zurückzuführen sein, daß die pathologischen Veränderungen, welche Pflanzenteile in bewegter Luft erleiden, sehr mannigfaltig sein können, je nach der Beschaffenheit der Luft, den örtlichen Verhältnissen, sowie nach Art, **Alter** und Disposition des Pflanzenindividuums verschieden, oft scheinbar widersprechend sind. Zudem konnten die meisten der obengenannten Forscher ihre Studien lediglich in der freien Natur anstellen, wo nebenbei auch andere pathogene Einflüsse eine so große Rolle zu spielen vermögen, daß es schwer fällt, die spezifischen Windwirkungen in reiner Form zu erkennen. — Nur das Experiment ermöglicht bei stetiger Kontrolle der Begleitumstände eine Aufstellung bestimmter Merkmale der durch Luftströme bedingten Krankheiten der Vegetation.

I. Teil.

Theoretische Betrachtungen.

I. Abschnitt.

Charakteristische Merkmale der Vegetation in Windgegenden; Windschutzbedürfnis.

Viele Gebiete der Erdoberfläche, welche intensiven Luftströmungen ausgesetzt sind, zeichnen sich durch ganz bestimmte eigenartige Vegetationsbilder aus.

1. Geringes Wachstum, Kleinheit der Formen und niederliegende Gestalt kennzeichnet die Pflanzenwelt der Hochgebirge, Tundren, Steppen, Meeresküsten, Inseln ꝛc.

Diese allgemeine Zwerghaftigkeit der Vegetation beruht einesteils auf dem häufigen Vorkommen von niedrig wachsenden Pflanzenarten, deren Nanismus durch erbliche Eigenschaften bedingt ist; anderenteils erreichen aber auch die Vertreter sonst hochwachsender Pflanzen nur geringe Höhe. Die Vegetationsorgane bleiben klein und schmiegen sich dem Boden an. Wo einzelne Exemplare größere Höhe erreichen, ist dies in der Regel durch Schutz bietende topographische Verhältnisse bedingt.

Zu der erstgenannten Gruppe der niedrigen Pflanzen gehören die durch Bodenrosetten ausgezeichneten Arten, zu der letzteren die zu Polster-, Teppich-, Schild-, Schirm-, Fahnen-, Hecken- und Kugel- ähnlichen Gebilden umgestalteten Holzpflanzen, wie sie von Middendorff, Kihlman, Reiche, Warming, Schimper, Hartz, Andersson, Hansen, Früh, Rikli beschrieben werden.

2. Hand in Hand mit diesem Nanismus geht oft ein exzentrisches Wachstum der Pflanzenindividuen, eine ungleichartige Ausbildung der Luv- und Leeseite.

Die Äste der Luvseite bleiben klein, relativ kurz und schwach.

Die luvseits der Achse erster Ordnung stehenden Sprosse werden durch den Wind abnorm fixiert, sodaß sie teils seitlich der Hauptachse gegen lee gerichtet sind, z. B. bei den „Spalierlärchen", teils gegen die Hauptachse angedrückt erscheinen.

Tote Äste und Zweige sind auf der Windseite häufig.

Die lebenden Sprosse drängen sich oft zu einem dichten, regellosen Flechtwerke zusammen.

Die leeseitigen Achsen zweiter und höherer Ordnung erleiden nur geringe Veränderungen; sie werden weniger durch die Druck- und Zugkräfte des Windes aus ihrer normalen Lage verschoben. Auch erleidet das Längenwachstum dieser Sprosse sehr viel weniger Einbuße als dasjenige der luvseitigen.

Entsprechende Erscheinungen zeigen die Blattorgane.

Auch diese werden in die Windrichtung fortgezogen und in dieser Lage fixiert. — Desgleichen erreichen die windgeschützten leeseitigen Blätter größere Ausmaße. Auf der Luvseite finden sich ganz oder teilweise abgestorbene Blätter; die Spreiten sind hier meist abnorm entwickelt und zeigen Mißbildungen und Löcher, welche durch Verletzungen während des Wachstums entstanden sind, sowie braun und rot gefärbte Flecke an Stellen, deren Epidermis mit oder ohne das darunterliegende Zellgewebe abgetötet ist.

Der Hauptstamm selbst, insbesondere die Kronenpartie, gibt dem Winddrucke nach, sodaß er eine nach lee geneigte Lage annimmt. Auch die Form der Jahrringe zeigt exzentrische Gestaltung, indem der Dickenzuwachs auf der Leeseite denjenigen der Luvseite oft um das Vielfache (vgl. auch Hartz) übertrifft.

Durch das Zusammenwirken dieser Erscheinungen erhält die Pflanze das Aussehen einer gegen lee ansteigenden Sanddüne. Schließen sich Holzpflanzen zu Waldbeständen zusammen, so wiederholt der ganze Wald das Bild der Landdüne, indem die Höhe von luv gegen lee stetig zunimmt, bis die Normalhöhe erreicht ist.

Das Holz mancher Bäume zeigt verschiedene Farbe, je nachdem es auf der Luv- oder Leeseite der Stammachse gebildet wurde: Das „Druckholz“ der Fichte ist z. B. rot.

3. Der Typus oberirdischer Pflanzenteile in Windgegenden ist gekennzeichnet durch hohe mechanische Widerstandsfähigkeit, welche auf großer Steifheit, knorrigem Wuchse oder elastischer Zähigkeit beruht. — Dabei ist Xerophilie häufig.

4. Ein weiteres Merkmal der Windgegend ist ein spärlicher, lückiger Stand der Gewächse, insbesondere der höher in die Atmosphäre ragenden Pflanzen. [1])

Umgekehrt verliert eine Örtlichkeit die Eigenschaften einer Windgegend, wenn hochwachsende Pflanzen sich zu einem Bestande zusammenschließen; dann nehmen nur die den luvseitigen Rand bildenden Pflanzen den Habitus

[1]) Vgl. Warming, Lehrb. d. ök. Pflanzengeographie: „Ein Wald wird so auf der Windseite zum Gestrüppe herabsinken können, und dieses wiederum zuletzt in zerstreut und einzeln stehende, haufenförmige Individuen aufgelöst werden können.“

von Windpflanzen an, während die übrigen vor unmittelbarer Windeinwirkung geschützt sind.

5. Auffallend ist auch die Zusammensetzung der Flora, beziehungsweise das Fehlen gewisser Pflanzen und Pflanzengenossenschaften in Lagen mit sehr bewegter Atmosphäre.

Die Abwesenheit von Bäumen und bezw. Wald wurde von den verschiedensten Autoren als Folge starker Luftströmungen erkannt.

Das Fehlen der Blütenpflanzen „auf weiten Strecken, über welche die trockenen Winterstürme hinfegen," schrieb G. Andersson diesen Stürmen zu.

Beccari fand auf Borneo, daß die Pflanzen der Flußufer im Gegensatze zu ihren Verwandten im Walde sich durch Stenophyllie auszeichnen (Windblattform).

G. Beck [1]) erwähnt die „immerwährende Sterilität" der der Bora ausgesetzten Täler; desgleichen den großen Gegensatz in der „Vegetationsbedeckung des Bodens" der von der Bora betroffenen nordöstlichen Gehänge von Veglia, Arbe und Pago gegenüber der geschützten Küste im Süden dieser Inseln.

Für die ostfriesischen Inseln stellte A. Hansen [2]) eine tabellarische Übersicht der aufrecht wachsenden Pflanzen und der niedrigen Pflanzenarten zusammen, aus welcher die auslesende Wirkung des Windes auf die Zusammensetzung der Flora klar hervortritt. Gegenüber 180 niedrig wachsenden Arten resp. Gattungen stehen nur 82 mit aufrechtem Wuchs.

6. Zu völliger Unfruchtbarkeit kann eine Gegend durch nachteilige Veränderungen des Bodens durch Wind herabsinken. — So ist nach Strobel die Entführung der lockeren Dammerde durch die Bora schuld, daß die windoffenen Kalkplateaus von Illyrien verödet sind, während ebendaselbst die windgeschützten Dolinen reiche Vegetation aufweisen.

Am Donnersberg in der bayr. Pfalz mußten zwecks Bindung der staubförmigen Verwitterungsprodukte des Porphyrs auf den hochgelegenen Kuppen Ahornsaaten ausgeführt werden. Die massenhaft aufgehenden Keimpflanzen halten die Feinerde solange fest, bis die forstwirtschaftlich erwünschte Buche und Eiche in Mastjahren eingebracht werden kann.

Als weitere Beispiele für solche durch Wind verödete Landstriche nenne ich die weiten Flugsandgebiete der Meeresküsten und Binnenländer, sowie gewisse Wüstengegenden.

7. Die Schädlichkeit des Windes für das pflanzliche Leben haben die Bewohner vieler Windgegenden seit langem erkannt, und wehren den Zutritt des Windes durch verschiedenartige Maßregeln von ihrem Kulturlande ab.

[1]) Die Vegetationsverhältnisse der illyrischen Länder. 1901.

[2]) Die Vegetation der ostfriesischen Inseln.

Auf Korsika schützt man letzteres durch Steinmauern[1]) von mehreren Metern Höhe; der Schleswig-Holsteiner legte gegen Ausgang des 18. Jahrhunderts die Knicke[2]) an, und das beknickte Feld kam bei der späteren Bonitierung durchschnittlich eine Stufe höher als die freiliegenden Äcker. In Holland umgibt man die Kulturflächen der Niederung mit vertikalen Schutzwänden aus Schilfgeflecht oder Brettern beziehungsweise mit lebenden Crataegus-Hecken. — Mittelst Flechtwerk umfriedet man auch an verschiedenen Örtlichkeiten des Mittelmeeres die Gemüsegärten gegen den direkten Anprall des Seewindes. So sind nach Prof. v. Tubeuf[3]) auch die Gemüsegärten auf dem Lido bei Venedig geschützt.

Zum Zwecke des Windschutzes hat man in dem Winter-Calville-Gehege zu Merten bei Bonn in Abständen von zirka 10 m Parallelmauern errichtet, welche insbesondere das Abfluten der warmen Luft verhüten sollen. — Auch Schutzstreifen von Wald bewähren sich zwischen den gerodeten Kulturflächen zur Erhaltung der Fruchtbarkeit, was Prof. Wohltmann auf Samoa erkennen konnte.

II. Abschnitt.

Meteorologisch-physikalische Eigenschaften des Windes.

Zufolge stets vorhandener ungleicher Temperatur- und Luftdruckverhältnisse ꝛc. herrscht eine beständige Bewegung in der Atmosphäre. Solche Luftströmungen können durch unser Gefühl erst bei einer gewissen Intensität wahrgenommen werden; auch für unsere feinsten Meßinstrumente bleiben Bewegungen der Luft, welche 0,1 m pro Sekunde nicht erreichen, verborgen. (Windstille).

1. Die Windgeschwindigkeit hängt ursprünglich von der Luftdruckdifferenz zwischen Hoch- und Niederdruckgebiet, sowie von der örtlichen Entfernung dieser Gebiete ab (Barometrischer Gradient); in größerer Nähe der Erdoberfläche wird sie noch durch den Reibungswiderstand vielfach modifiziert. Messungen der Geschwindigkeit des Wolkenzuges haben ergeben, daß in Höhen von über 7 km die Wolken durchschnittlich die Geschwindigkeit der Stürme an der Erdoberfläche besitzen, und daß dort Luftströme von 70 bis 100 m pro Sekunde vorkommen.

Seit den Versuchen des schottischen Professors Stevenson, welcher in einer Höhe von 15,2 m eine nahezu dreimal so große Windgeschwindigkeit als die an der Erdoberfläche herrschende feststellte, ist die Tatsache des Sinkens der Windstärke mit abnehmender Höhe über dem Erdboden all-

[1]) Ritli.

[2]) Emeis, Hansen, Warming.

[3]) Unterredung am 22. III. 1907.

gemein bekannt. — Die Ergebnisse der Berliner wissenschaftlichen Ballonfahrten bestätigen diese Erscheinung durchgehends, ebenso die von 1890 bis 1895 auf dem Eiffelturm aufgezeichneten Anemometerregistrierungen, welche zugleich den ungemein retardierenden Einfluß von in die Luft ragenden Gegenständen (Häuser) veranschaulichen: Im Durchschnitt herrschte auf dem Turme die mehr als 4fache Windstärke gegenüber der in Höhe von 21 m über Paris gemessenen.[1])

Nicht in demselben Verhältnis steigt die Windstärke auf Bergen und massigen Erderhebungen infolge der Ablenkung der Luftströmung sowie der Rückstauung der Luftmassen vor dem Hindernisse.

Die absolute Meereshöhe eines Berges kann infolge dieser komplizierten Begleitumstände keinen direkten Anhaltspunkt für die daselbst vorhandenen Windstärkenverhältnisse abgeben, doch steigt in der Regel auch hier die Windgeschwindigkeit mit der Bergeshöhe.

Die Stärke des Windes ist am größten über den weiten Wasserflächen der Weltmeere, und nimmt gegen das Innere der Festländer rasch ab. (Vgl. G. Hellmann: „Untersuchungen über die jährliche Periode der Windgeschwindigkeit.“ Met. Zeitung XXXII. 1897).

Für die Vereinigten Staaten gilt dieselbe Erscheinung. (Vgl. Supan in Geogr. Mitteil. 1889 Ste. 20).

Darmer gibt folgende Ziffern für das Sinken der mittleren Windstärke mit Entfernung vom offenen Meere (Annalen der Hydrographie 1889 Seite 290): Valentia $7,_4$; Wilhelmshaven $6,_8$; Wustrow $6,_2$; Memel $5,_5$; Petersburg $4,_3$.

An dem Strande der Ostsee beträgt die mittlere Windstärke $6,_3$ pro Sek. (Höhe $15\frac{1}{2}$ m); am Schwarzen Meere $5,_7$ m pro Sek. (Höhe $7,_7$ m); im Innern von Rußland dagegen ist die mittlere Geschwindigkeit nur noch $4,_3$ pro Sek. (Höhe $10,_5$ m); in den westlichen und nordwestlichen Guvernements nur noch $2,_6$ m pro Sek. (Höhe $15,_9$ m).

Durch die Elastizitätsverhältnisse der Luft wird es hauptsächlich bedingt, daß jede Luftströmung niemals ein gleichmäßiges Fortgleiten der Luftteilchen darstellt; *der Wind setzt sich daher stets aus mehr oder weniger schnell aufeinander folgenden Luftstößen zusammen.* Daher kommt es, daß eine genaue Messung der Windgeschwindigkeit so große Schwierigkeiten bereitet, in vielen Fällen überhaupt unmöglich ist. Die erhaltenen Zahlen stellen im günstigsten Falle Integralwerte dar.

Für wissenschaftliche Untersuchungen bedient man sich der Berechnung der Windgeschwindigkeit nach Metern pro Sekunde; in der Praxis hat sich die Beaufort- und die Landskala bewährt.

---

[1]) Anmerkung: A. Angot: Résumé des Observ. anémométriques faites au Bureau Central et à la tour Eiffel 1890—1895. Annales du Bureau Central mét. Mémoires de 1897.

Die nachstehende Tabelle möge das Verhältnis der verschiedenen Bestimmungsarten der Windgeschwindigkeit- respektive Stärke veranschaulichen:

Windstärke nach Beaufort	Windgeschwindigkeit m pro Sek.	m pro Min.	km pro Stunde	Seemeilen pro Stunde	Winddruck kg pro □m	Land-Skala Bezeichnung des Windes	Wirkung des Windes
0	0—1,5	90	5,4	3	0,3	0 Still	Der Rauch steigt gerade oder fast gerade empor.
1	3,5	210	12,6	7	1,5	1 Schwach	Für das Gefühl bemerkbar. Bewegt einen Wimpel und die Blätter der Bäume.
2	6	360	21,6	12	4,4		
3	8	480	28,8	16	7,8	2 Mäßig	Bewegt die Blätter und schwächeren Zweige der Bäume. Streckt einen Wimpel.
4	10	600	36	19	12,2		
5	12,5	750	45	24	19,0	3 Frisch	Bewegt die stärkeren Zweige der Bäume.
6	15	900	54	29	27,4		
7	18	1080	64,8	35	40	4 Stark	Bewegt große Äste und schwächere Stämme. Das Gehen im Freien ist gehemmt.
8	21,5	1290	77,4	42	56		
9	25	1500	90	49	76	5 Sturm	Die ganzen Bäume werden gerüttelt; Äste und schwächere Bäume gebrochen.
10	29	1740	104,4	56	103		
11	33,5	2010	120,6	65	137	6 Orkan	Zerstörende Wirkungen. Häuser werden abgedeckt; starke Bäume gebrochen oder entwurzelt.
12	40	2400	144	78	195		

2. Jede Luftströmung hat die Fähigkeit, mechanisch auf entgegenstehende Hindernisse einzuwirken. Diese Kraft wächst ungefähr mit dem Quadrate der Windgeschwindigkeit, ist jedoch zugleich von dem spezifischen Gewichte der Luft, beziehungsweise deren Dichtigkeit abhängig, so daß mit größerer Höhe der Winddruck im Verhältnis b : 760 abnimmt.

Hann berechnet für die Nähe der Erdoberfläche den ungefähren Wert des Druckes in Kilogramm auf 12 % des Quadrates der Windgeschwindigkeit (ausgedrückt in Metern pro Sekunde).

Diese Formel hat jedoch nur für kleinere Flächen Giltigkeit. Auf umfangreiche Gegenstände ist der Druck verhältnismäßig geringer als auf kleinere, was zum Teile durch Ausbiegen der Luftströmung erklärt werden kann.

Die mechanische Kraftleistung des Windes setzt sich aus 2 Komponenten zusammen: aus einem gegen die Vorderseite des Hindernisses gerichteten Drucke und aus einem infolge saugender Luftverdünnung auf der Rückseite entstehenden Zuge. — Die mechanische Kraftleistung ist ebenso wie die Windgeschwindigkeit eine stoß- und ruckweise, bzw. vibrierende.

3. Die Richtung des Windes wird durch die gegenseitige Lage von Minimum und Maximum des Luftdruckes, durch die Erdrotation und Zentrifugalkraft, sowie durch die Gestaltung der Erdoberfläche bestimmt. So wird z. B. der in höheren Luftschichten wehende Westwind in dem Hochtale des Oberengadin zu einem Südwestwind und stellenweise zu reinem Südwind, und ist als solcher auch aus dem Habitus der Pflanzenwelt zu erkennen. Diese Ablenkung der Luftströmung durch die Erdoberflächengestaltung erstreckt sich jedoch im allgemeinen nur auf die unteren Luftschichten.

4. Wasserverdunstung und Wind. Das Verdunsten von Feuchtigkeit ist abhängig von der Temperatur des verdampfenden Körpers und der umgebenden Luft, dem Luftdrucke und der Luftbewegung, sowie von dem Sättigungsdefizit der Luft. Letzteres bezeichnet die Wasserdampfmenge in Grammen, die 1 cbm Luft bei einer gewissen Temperatur bis zur Sättigung noch aufnehmen kann. Für jeden Temperaturgrad besteht ein Maximum des gasförmigen Wassergehaltes der Luft; darüber hinaus wird jegliche Wassergasbildung sistiert. Kühlt sich gesättigte Luft ab, so wird der den jeweiligen Sättigungszustand überschreitende Teil des Wasserdampfes als flüssiges Wasser ausgeschieden; es entsteht Nebel, Tau, Regen, Schnee 2c.

Niedrige Temperaturen des verdunstenden Gegenstandes oder der Luft setzen der Verdampfung keine unüberschreitbaren Grenzen, soferne die übrigen Faktoren der Verdunstung günstig sind; auch Eis und Schnee dunsten ab. Das Sinken des Luftdruckes befördert die Verdunstung; ebenso steigt diese mit der Geschwindigkeit der Luftbewegung. Die letztere Erscheinung ist noch nicht völlig auf ihre Ursachen zurückgeführt. Allgemein gilt als Hauptgrund

a) die rasche Wegführung des gebildeten Wasserdampfes von dem verdunstenden Gegenstande, was um so mehr ins Gewicht fällt, da die Ausbreitung des Wasserdampfes durch Diffusion ungemein langsam von statten geht, was Lamont durch einen interessanten Versuch nachgewiesen hat:

Ein Verdunstungsmesser von größerer Dimension verdampfte pro Tag 3,2 mm, dagegen gab ein bis zu 9 cm vom Rande mit Wasser gefülltes Glasrohr von 1,1 mm Durchmesser nicht mehr als 0,45 mm Wasser ab.

---

b) Die Einwirkung des Windes auf die Verdunstung beschränkt sich jedoch nicht auf die Heranführung weniger gesättigter Luft. Durch mechanischen Druck vergrößert der Wind die verdampfende Oberfläche freier Wassermassen infolge Wellenbildung;

c) durch Erzeugung von Schaum kommen Luftblasen in das Wasser und sättigen sich dort.

d) Bei stärkerem Winde werden Wasserteilchen in die Luft entführt, gehen dort teils in gasförmigen Zustand über, teils werden sie unverändert wieder abgelagert.

Durch diese letztere Erscheinung erklärt sich das Vorkommen des Wasserstaubes in der Meeresluft bei stürmischem Wetter.

e) Endlich dürfte der mit den Windstößen wechselnde Luftdruck die Verdunstung beschleunigen.

5. Niederschläge. Die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit, gasförmiges und in Tröpfchenform an Staubpartikel gebundenes Wasser, wird durch Luftströmungen weiter verfrachtet. Der Wind spielt auf solche Art den Hauptfaktor bei der Verteilung der Feuchtigkeit über den Kontinenten.

Je nach ihrer Herkunft bringt die Luftströmung trockenes oder feuchtes Klima. — Landwinde führen trockene Luft mit sich und bedingen bei längerer Einwirkung Unfruchtbarkeit des Landes infolge seltener Niederschläge. — Seewinde bringen Luft von hoher Feuchtigkeit. Treffen diese Winde auf Landmassen, so wird umsomehr Niederschlag erfolgen, je mehr sich die Luft abkühlt und damit die zur Sättigung ausreichende Wasserdampfmenge kleiner wird. Solche Erkältung der Luft tritt insbesondere beim Aufsteigen ein, und zwar auf je 100 m Höhe um zirka 1 ° C. Durch Abscheidung flüssigen Wassers wird jedoch Wärme frei; aus diesem Grunde erkalten feuchte Luftströme beim Aufsteigen weniger als trockene. Beim Herabsinken erwärmen sich Fallwinde, und verringern dadurch ihre relative Feuchtigkeit; selbst dann, wenn sie aus feuchten Örtlichkeiten stammen, sind sie meist trocken und bringen den leeseitig höherer Gebirgsrücken gelegenen Ländern sehr oft ungünstiges Klima. —

Hohe Gebirgsketten stellen auf solche Weise sehr wirksame Scheidewände für die Hydrometeore dar; so sind in unseren Alpen die nordwestlichen Ausläufer mit Niederschlägen überreich bedacht, während die südöstlich angrenzenden tiefer gelegenen Länder zum Teil an Trockenheit leiden.

Während so der Wind allgemeine Feuchtigkeit eines Landes bedingen kann, gehört zu nachhaltiger Feuchtigkeit einer Ortslage doch normalerweise Schutz der Bodenoberfläche vor direktem Winde. Bei starkem Luftwechsel schwankt die Bodenfeuchtigkeit zu sehr. Die Taubildung wird sistiert, da der durch die Bodenschicht passierenden Luft zu kurze Zeit gewährt ist, um durch die Berührung mit den Erdpartikeln abgekühlt und ihres Wasserdampfes durch Verdichtung desselben beraubt zu werden.

So unterbleiben auch die mit dem Aufsteigen unterirdischer Luft normalerweise vor sich gehenden Abscheidungen von Wasser in den oberen kühleren Bodenschichten, die „unterirdischen Niederschläge", infolge allzuschnellen Luftwechsels, wie er durch direkt auf die Bodenoberfläche treffende Windströme entsteht; ganz besonders stark ist diese Einwirkung auf die

Bewegung der Bodenluft, wenn der Wind bereits die natürliche Bodendecke entführt hat. —

An Stelle einer Ausscheidung von Wasser wird unter solchen Verhältnissen meist noch eine weitere Verdunstung des vorhandenen flüssigen Wassers eintreten.

Auf diese Weise entstehen bei an sich günstigem feuchtem Winde Extreme von Bodenfeuchtigkeit infolge starker Niederschläge in Form von Regen rc. und Trocknis infolge rascher Abdunstung der Bodenfeuchtigkeit. —

Für die Vegetation dürften anhaltende Winde, auch falls sie hohe Luftfeuchtigkeit bringen, nur dann zu einem klimatischen Optimum beitragen, soferne sich die stärkere Bewegung auf die oberen Luftschichten beschränkt. — Hiefür spricht die Tatsache, daß die fruchtbarsten Gegenden unserer Breiten sich in windgeschützten Lagen befinden, während zu gewissen Perioden regenbringende Luftströme in größerer Höhe über das Land hinwegziehen und es durch Niederschläge befeuchten.

6. Die Temperatur wird durch Luftströmung stark beeinflußt.

a) Wie bereits ausgeführt wurde, nimmt die Verdunstung feuchter Körper bei Wind rasch zu, woraus ohne weiteres auf eine mehr oder minder große Verdunstungskälte geschlossen werden muß. Hieher gehören die von J. A. Hensele gefundenen Versuchsresultate, welche dartun, daß „die Bodentemperatur unter dem Einfluß des Windes nicht unbeträchtlich herabgedrückt wird, und zwar in demselben Maße, als die Windgeschwindigkeit und der Winkel wächst, unter welchem derselbe auffällt.“ Man vergleiche auch die Temperaturmessungen des Bodens in Teil II. Kap. 1. A. Versuche Nr. 1 mit 4.

b) Sehr wichtig für die Beurteilung des Einflusses von Wind auf die Temperatur von Gegenständen, welche direkter Insolation ausgesetzt sind, ist die Tatsache, daß Luft sich in der Sonne nicht so erwärmt, als dichte Körper.

Bei Besonnung erwärmt der bestrahlte Gegenstand die unmittelbar anstoßende Luftschicht. Wind entführt nun diese wärmere Berührungsluft stets aufs neue und bringt die kühleren Luftschichten in umso innigere Berührung mit dem bestrahlten Gegenstande, je stärker er weht, und setzt auf solche Art die Temperatur herab. —

Hierauf beruht die verderbliche Wirkung konstanten Windes auf die Fruchtbildung wärmebedürftiger Knlturgewächse mit in erster Linie.

c) Von allgemein klimatischer Bedeutung für ganze Landstriche werden Luftströme, indem sie die Wärme heißer Gebiete in benachbarte Gegenden überführen, oder die Temperatur wärmerer Länder durch Zuführung kalter Luftmassen drücken. Indem konstante Merreswinde Driften und Strömungen hervorrufen, werden die von diesen Meeres-

strömen bespülten Länder ebenfalls klimatisch beeinflußt. So erhält Europa sein gemäßigtes Klima durch den Golfstrom und durch die westlichen Winde, welche die vom Golfstrom vorgewärmten Luftmassen landeinwärts tragen.

Für die Charakterisierung der durch warme Winde erzeugten Luftwärme gegenüber der direkten Sonnenwärme ist das Verhalten der Vegetation in den norddeutschen Küstenländern bedeutungsvoll. Emeis weist nach, daß die an sich günstigen, mit verhältnismäßig großer Wärme und Feuchtigkeit ausgestatteten westlichen Luftströme die Verödung der bestrichenen Länder herbeizuführen vermögen.

Die Wärmeverhältnisse — wie die Feuchtigkeit eines Landes können zwar durch die Luftströmungen der höheren Schichten der Atmosphäre sehr gefördert werden, andauernde und stärkere Strömungen der unteren Luftschichten haben gewöhnlich mißliche Folgen für Boden und Vegetation. (Vgl. Das Klima windgeschützter Gegenden (Täler) und der Freilage! Die mit Schutzwänden versehenen Gärten mit windoffenen!)

7. Fremdkörper in bewegter Luft. Infolge der dem Winde innewohnenden mechanischen Wirkung kann derselbe nicht nur Körper von geringerem oder gleichem spezifischen Gewichte, sondern auch solche, welche schwerer als Luft sind, transportieren. Mit der Stärke der Luftströmung wächst ihre fortbewegende Kraft. — Das Aufreißen und in die Höhe heben von schweren Gegenständen ist durch Entstehen von Luftwirbeln (am Boden) zu erklären. Auf solche Art kommen gröbere Staubpartikel, Ruß, Steinchen, Sand, Schnee und Eisklümpchen, sowie organische Bestandteile der Bodendecke, wie Blätter, Humus, auch Mikroorganismen 2c. in die Luft. Viele Pflanzenarten benützen diese Eigenschaft des Windes zur Ausbreitung ihres Samens.

Auch Wasserteilchen werden durch Wind aus freien Gewässern entführt.

Über und in der Nähe von Salzwasserseen ist oft ein größerer Gehalt der Luft an den in dem betreffenden Wasser enthaltenen Salzen, insbesondere Kochsalz, nachgewiesen worden. Auch über großen Kontinenten enthält die Luft stets etwas Kochsalz. Dieses Salz dürfte in Form von Salzwasserstaub durch Wind in die Luft gelangen,[1]) und zwar durch rein mechanische Zerstäubung des Meerwassers.

Nach Friedrich (Deutsche Medizinalzeitung 1890) ist Verdunstung dabei nicht beteiligt. - Infolge der hygroskopischen Eigenschaften des Kochsalzes wird dieses nicht in trockener Form, sondern als mikroskopisch feiner Salzwasserstaub in das Landinnere getragen.

Bei vielen industriellen Betrieben und über größeren Städten sammeln sich gasförmige Produkte in der Luft, welche durch Wind in bestimmter

[1]) O. Siedamgrotzki: „Über den Kochsalzgehalt des Alpenheus". Archiv für Tierheilkunde Bd. XXIV. Ste. 101.

Richtung verbreitet werden. Soferne diese Beimengungen der Luft giftig sind, wie z. B. Steinkohlen- und Hüttenrauch, stellt der durch Wind erfolgende Transport eine Schädigung der betroffenen Landstriche dar.

III. Abschnitt.

Wind und Pflanzenleben.

Pflanzenwelt und Atmosphäre stehen in innigster Wechselbeziehung zu einander. Die gasförmigen und flüssigen Bestandteile der Luft bieten der Pflanze das unentbehrliche Material zu ihrem Aufbau sowohl als zur Entfernung verbrauchter Substanz bei den Vorgängen des Stoffwechsels. In erster Linie sind die Blattorgane der höheren Pflanzen zur Ausführung dieses Stoffaustausches zwischen Luft und Pflanze bestimmt; in gewissem Sinne sind aber alle peripherisch gelegenen lebenden Pflanzenteile und auch die inneren Organe auf Zutritt und Mitwirkung der Luft bei Ausführung ihrer Lebensaufgaben angewiesen. — Außerdem stellt die Luft je nach ihren Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnissen ein dem Pflanzenwachstum günstiges oder ungünstiges Medium dar.

Auch die Beschaffenheit des Erdbodens, an welchen alles höher entwickelte Landpflanzenleben gebunden ist, wird durch atmosphärische Einflüsse stark modifiziert. Die Erdoberfläche wird in bezug auf Feuchtigkeit und Wärme sowie in ihren chemischen und physikalischen Eigentümlichkeiten direkt durch die Außenluft beeinflußt; auch die tiefer gelegenen Erdschichten werden in gleichem Sinne, wenn auch schwächer in Mitleidenschaft gezogen infolge des körperlichen Zusammenhanges mit der Oberschichte (Kapillarität, Wärmeabgabe) und durch Vorgänge in der Bodenluft, welche mit der Außenluft in Wechselbeziehungen steht.

Da nun Wind nichts anderes als bewegte Atmosphäre bedeutet, so ist es naheliegend, daß Reaktionen lebender oder unbelebter Substanz auf Wind den wechselnden Eigenschaften der Atmosphäre entsprechend sehr komplizierte Ursachen haben können, und je nach den begleitenden Umständen bei gleicher Windstärke eintreten oder ausbleiben. — Nur bei Berücksichtigung aller dieser Dinge läßt sich eine einigermaßen richtige Diagnose der Krankheiten und Krankheitsursachen aufstellen, welche als Begleiterscheinungen von Wind in kalten, heißen, trockenen oder feuchten Erdgegenden die Vegetation schädigen.

Aus denselben Gründen ergibt sich die Folgerung, daß bei Erforschung der wirkenden Ursachen im Winde es nicht angeht, nur die oberirdischen Vegetationsorgane in den Kreis der Betrachtungen zu ziehen. Es sind ge-

rade die vor unmittelbarem Winde geschützten unterirdischen Teile der Pflanze, welche durch Beanspruchung auf Zug- und Biegungsfestigkeit sowie durch Wechselwirkung mit dem durch Wind beeinflußten Erdboden in Mitleidenschaft gezogen werden. Insbesondere konstante Winde gefährden durch Veränderung des Substrates das pflanzliche Leben.

Die mechanische Entführung der natürlichen Bodendecke [1]), der organischen Streu- und Humusschichte sowie der winterlichen Schneedecke bedeutet eine direkte Minderung der wichtigsten Nährstoffe und der Feuchtigkeit, und hat ungünstige Wirkungen auf die Zersetzungsvorgänge und die physikalischen Eigenschaften des Bodens.

Neben dem Nährstoffgehalte des aus Pflanzen- und Tierresten hervorgegangenen Humus möchte ich hier besonders dessen vorzügliche Eigenschaften zur physikalischen Verbesserung des Substrates erwähnen:

Die Erde wird durch Zwischenlagerung der Humusteilchen gelockert und durch die hygroskopischen Eigenschaften derselben feucht erhalten. Bei dem langsamen Luftaustausch zwischen ober- und unterirdischer Atmosphäre absorbiert die Streudecke einen Teil der Luftfeuchtigkeit, die kälteren oberen Erdschichten erhalten Gelegenheit die Luft durch Erkältung zur Taubildung zu veranlassen.

Wird nun eine solche organische Decke entführt, so entgehen dem so geschwächten Boden nicht nur die angedeuteten Vorzüge, sondern er wird durch direktes Auftreffen der Luftströmungen noch zu erhöhter Wasserabgabe der Oberschicht gezwungen [2]). Dazu kommt noch, daß bei schnellem Gasaustausche zwischen ober- und unterirdischer Atmosphäre die Taubildung in den zu passierenden Erdschichten unterbleibt. Infolge der durch den Wind bedingten Extreme in den Feuchtigkeitsverhältnissen und durch das direkte Aufschlagen der Regentropfen auf die ihrer organischen Decke beraubten Böden schwindet die Krümelbildung der Bodenpartikel, der Boden wird dicht und er verschließt sich. —

In diesem Falle wird die Feuchtigkeit der verdichteten Oberschichte schneller entführt als bei Krümelung, und der Gasaustausch zwischen der freien Atmosphäre und der Bodenluft unterbrochen, so daß Mangel an Sauerstoff und Feuchtigkeit das Absterben respektive Kümmern der Wurzeln herbeiführen kann.

In solchen verhärteten Böden finden Samenkörner kein geeignetes Keimbett. Die etwa vorhandenen höheren Pflanzengenossenschaften machen anspruchslosen Gewächsen Platz.

Als Beispiel der ungünstigen Einwirkung freier ungeschützter Lage auf die Bodenbeschaffenheit, speziell auf die physikalischen Verhältnisse der Bodenoberschichte nehme ich die durch die großen Insektenkalamitäten zu Anfang

---

[1]) Vgl. II. Teil. Kap. II.

[2]) Vgl. Versuche das **Wachstum** betreffend Nr. 1 mit 6.

des letzten Dezenniums des neunzehnten Jahrhunderts herbeigeführte Bloßlegung von Waldboden auf der oberbayerischen Hochebene. — Hier wurden viele Hunderte von Hektaren zusammenhängender Waldböden von meist sehr günstiger Beschaffenheit infolge Kahlfraß und nachfolgender Sturmschäden freigelegt. — In den ersten Jahren war der Boden sehr aufnahmefähig für Saat aller möglichen Holzgewächse; hiervon zeugen die aus gemischter Saat hervorgegangenen üppigen Jungholzflächen des Forstenriederparkes. — Nachdem dann der Boden mehrere Jahre freigelegen war, hatte er sich verdichtet und im allgemeinen verschlossen.

Noch besser wird die schädliche Einwirkung ungeschützter Freilage erkannt, wenn man die kümmernden Fichtenkulturen auf den lange Zeit zu Äsungsplätzen für Hochwild verwendeten Böden mit den bald nach dem Abtrieb wieder aufgeforsteten Fichtenbeständen vergleicht: Während die obere Erdschichte der letzteren locker und feucht ist, sind erstere steinhart, trocken und so unfruchtbar, daß Neuaufforstungen den größten Schwierigkeiten begegnen. — Die Bonität der freiliegenden Bodenflächen wird durch Wind und andere atmosphärische Einflüsse um so mehr heruntergedrückt, je größeren Umfang diese ungeschützten Flächen aufweisen; diese Erkenntnis führte zu der praktischen Maßregel, die zur Wildäsung bestimmten Kahlflächen nur in kleineren Stücken zwischen Wald einzulegen. — So empfiehlt auch Professor Wohltmann zwischen neu anzulegenden Kulturen in Samoa Streifen Waldes stehen zu lassen. —

Ähnliche Vorteile wie eine aus organischen Resten bestehende Bodendecke bringt die winterliche Schneelage, welche die Wärmeverhältnisse des Erdbodens temperiert, stärkeren Austausch zwischen Außen- und Bodenluft verhütet. Hierdurch wird die Wärme und zumal die Feuchtigkeit der letzteren bewahrt, was von höchster Wichtigkeit für die Gesunderhaltung der unterirdischen Pflanzenteile ist. So zeigte Göppert [1]), daß die Wurzeln, Wurzelstöcke und Zwiebeln sehr vieler Pflanzen nur durch den Schutz des Schnees und Erdbodens sich im Winter erhalten, bei freiem Zutritt der Luft aber schon bei mäßigen Kältegraden absterben. — Seit den Forschungen von H. v. Mohl steht es fest, daß Wurzeln von Holzpflanzen nicht wie die oberirdischen Organe in Vegetationsruhe während der kalten Jahreszeit übergehen, sondern in zellenbildender Tätigkeit verharren können. Diese Wurzeln wurden jedoch durch Temperaturen getötet, denen oberirdische Vegetationsorgane leicht widerstehen; z. B. waren die Wurzeln von Apfelbäumen schon bei — 5° R, diejenigen von Eichen und Eschen bei — 11° R abgestorben.

Eine Schneedecke gewährt durch schlechte Wärmeleitung, Verlangsamung des Gasaustausches zwischen Außen- und Bodenluft und durch Freiwerden von Wärme bei dem Gefrieren respektive durch Ausfiltrieren des Wassers aus der aufsteigenden Bodenluft Schutz gegen übermäßig tiefe Temperatur-

[1]) Sitzungsber. der schles. Ges. f. vaterl. Kultur. 14. Dezember 1874.

grade; bei dem Auftauen wird die Umgebung des Schnees erkältet und dadurch unzeitgemäße Wärme verhütet.

Im Winter schützt die Schneedecke den Boden vor Austrocknung, im Frühjahr führt sie ihm beim Auftauen circa 75 % aller Niederschläge des Winters zu, welcher Feuchtigkeitsvorrat umso mehr ins Gewicht fällt, als von den Sommerniederschlägen in der Regel nicht mehr als 7—18 % in den Boden gelangen [1]).

So sichert eine Schneedecke im Winter und Frühjahre ein gleichmäßiges Klima, schützt vor zu frühem Erwachen der Vegetation und vor Kälte- und Trockentod überhaupt.

Durch Bindung von staubförmigen Mineral- und Humuspartikeln liefert der Schnee seiner Unterlage Nährstoffe aus der Luft [1]); außerdem bindet die Schneedecke atmosphärische Kohlensäure, welche sehr wichtig zur Lösung anorganischer Nährstoffe des Mineralbodens ist. In 1 kg alten Schnees befinden sich nach Schiller-Tietz über 22 ccm Kohlensäure. — Auf die beschriebene Weise schafft eine Schneedecke organische und anorganische Nahrung für die Vegetation.

Die aufgeführten Vorteile der Schneedecke entgehen der auf stürmischer Ortslage angesiedelten Pflanzenwelt, indem dort die Schneemassen verweht und an geschützten Stellen abgesetzt zu werden pflegen, welch letztere durch das Übermaß von Schnee in der Regel einen Teil der Vegetationszeit verlieren. —

Zum Schlusse sei noch auf den mechanischen Abtrag der als Medium der Wurzeln und Nährstofflieferanten gleich bedeutungsvollen Feinerdeteilchen aus dem Boden hingewiesen. Durch diese Tätigkeit des Windes verlieren insbesondere Fels- und Flugsandgebiete die Fähigkeit, besseren Pflanzenwuchs zu tragen.

Die ausblasende Tätigkeit des Windes wird durch die Tatsache illustriert, daß bei dem Staubfall vom 9. bis 12. März 1901 aus Afrika durch Wind circa 1 800 000 Tonnen Staub nach Süd- und Mitteleuropa, und circa 150 000 000 Tonnen in das afrikanische Küstengebiet verfrachtet wurden [2]).

Die mit der Stärke des Windes sowie mit der Feinheit und Trockenheit der Bodenpartikel wachsende Abwehung der Erdteilchen bestätigen die Versuche von Hensele, welcher zugleich die hohe Bedeutung der Feuchtigkeit zur Bindung der Sandkörnchen nachwies.

Dieser Abtrag der Feinerde machte auf den trockenen Porphyrkuppen des Donnersberges in der Rheinpfalz spezielle Maßregeln zur Bindung nötig, da sonst die kahlen Felsen veröden würden. —

---

[1]) Schiller-Tietz.

[2]) W. König.

Bekannt sind die durch Wind hervorgerufenen Nachteile beweglicher Böden: Pflanzenwurzeln werden bloßgelegt, die Ballenpflanzungen durch Ausblasen der den Ballen umgebenden Erde beschädigt, oder umgekehrt werden oberirdische Sproßteile zugeweht. —

Direkt wirkt der Wind auf die unterirdischen Organe der Pflanze durch Beanspruchung auf Zug und Druck ein.

Die Wurzeln haben die mechanische Aufgabe, den oberirdischen Teil der Pflanze aufrecht zu erhalten und bewirken dies durch Verwachsung mit dem Boden und durch Ausbildung großer Druck- und Zugfestigkeit der Gewebe. — Die starken Wurzelansätze an dem Wurzelstocke wirken als Hebel; sie stützen auf der Leeseite und halten auf der Luvseite durch die Verankerung der weit auslaufenden Wurzelverzweigungen den Stamm aufrecht. Solche mit dem Stamme biegungsfest verbundene Wurzeln sollen hier mit dem Ausdrucke „Hebelwurzeln" bezeichnet werden.

Durch seitlichen Druck des Windes unterliegen die luvseitigen Wurzeln nahe dem Wurzelhalse einer Tendenz aus dem Boden herausgehoben zu werden, die leeseitigen werden in den Boden eingedrückt. — Bei flachwurzelnden Baumarten, z. B. bei der Fichte, kann man oft beobachten, daß die luvseitigen Hebelwurzeln oft über handbreit aus dem Boden herausstehen.

Durch Trocknis und Sonnenbrand solchermaßen abgetötete Wurzeln finden sich massenhaft an den Westrändern der plötzlich freigestellten Überreste der durch die Nonne heimgesuchten Fichtenwaldungen des Forstenriederparkes.

Die feineren Wurzeln werden durch das Ziehen der mit dem Stamme biegungsfest verbundenen Hebelwurzeln im Boden gelockert. Die zarten, mit Bodenpartikeln verwachsenen Saugwürzelchen, Wurzelhaare und Wurzelknöllchen werden abgerissen; hiemit ist eine Schwächung des Gesamtorganismus verknüpft.

Im Extrem führt solche Windwirkung zum Windwurf, d. h. zu einem Sturz der Pflanze mit dem Wurzelstocke, wobei die weiter auslaufenden Wurzelteile abbrechen oder abreißen.

Chemisch kann der Wind auf die unterirdischen Pflanzenteile durch Beifuhr von Kochsalz aus dem Meere und durch Heranführung von schädlichen Substanzen der in der Luft suspendierten Verbrennungsprodukte der Steinkohle rc. einwirken, wobei die Schädigung entweder durch direkte Zerstörung der Pflanzenorgane oder aber durch physiologische Trockenheit respektive Wasserentzug bedingt ist. —

Auch für das Leben der Wasserpflanzen kann der Wind durch Beeinflussung des Mediums verhängnisvoll werden:

Regelmäßig ist die Leeseite größerer Gewässer im Gegensatze zu der Windseite arm an Pflanzenwuchs. Diese Tatsache ist — nach Klinge —

bedingt durch den Wellenschlag und dessen eigentümliche Erscheinungen und Wirkungen:

Durch den Wind werden auf der Luvseite kleinere Wellenkämme aufgeworfen, welche gegen das leeseitige Ufer hin an Ausdehnung bedeutend anzuwachsen pflegen.

Durch diesen Wellenschlag werden an die Wasserpflanze hohe Anforderungen in bezug auf mechanische Festigkeit[1]) gestellt, welchen die Pflanze nicht immer genügen kann. Die Verankerung der Wurzel leidet meist durch Aufwühlen des Erdbodens und Unterspülen des Wurzelsystems. —

Frei schwimmende, höhere Wasserpflanzen können ihre Existenz in Nähe der leeseitigen Ufer windbewegter Seebecken nur schwer aufrecht erhalten, da sie auf das trockene Land geworfen werden, oder in der Brandung von Steilufern zerschellen.

Die oben genannten indirekten Einwirkungen des Windes auf die Vegetation durch Veränderung des Substrates und Beeinflussung der unterirdischen Pflanzenteile sind von hoher Wichtigkeit für die Erklärung der Krankheiten der Vegetation in Windgegenden und der eigenartigen Zusammensetzung der Flora[2]).

Die direkten Wirkungen des Windes auf den pflanzlichen Organismus sollen im nachfolgenden Teile an der Hand von praktischen Versuchen erörtert werden.

II. Teil.

Ausführung der Versuche.

Die Versuche wurden — sofern nicht anderes bemerkt ist — an einem gegen direkte Einwirkung der Atmosphärilien durch Glas geschützten Platze des botanischen Versuchsgartens der K. landwirtschaftlichen Akademie Bonn-Poppelsdorf durchgeführt. — Dieser Platz war so gewählt, daß gegen Süden eine Mauer zu liegen kam, welche die direkte Insolation ziemlich ausschloß.

Diese Vorsichtsmaßregel erleichterte die Diagnose der Erkrankungen sehr.

Bei der Konstruktion eines Apparates zur Erzeugung von Wind kam es einesteils darauf an, möglichst hohe Windgeschwindigkeiten erreichen zu können, anderenteils einen möglichst großen Raum mit Wind zu bestreichen. Diese beiden Gesichtspunkte führten zu der Wahl eines nach Art eines Schiffspropellers konstruierten Flügelrades, welches an der horizontalen Achse eines Elektromotors befestigt werden konnte.

---

[1]) Typische Anpassungsformen an solche Verhältnisse stellen die Kalkflorideen dar, deren Thallus durch Verkalkung der Membranen versteift ist.

[2]) Vgl. II. Teil. Kap. II.

Dieser Ventilator erzeugte Windgeschwindigkeiten bis zu 14 m pro Sekunde und gestattete die Beobachtung einer größeren Anzahl von Pflanzen zu gleicher Zeit in gleichen und verschiedenen Windstärken.

Die ersten Versuche galten der Beobachtung der für das Pflanzenleben belangreich erscheinenden allgemeinen Bedingungen in bewegter Luft und der Einflußnahme des Windes auf die Stoffbildung in den Pflanzenblättern.

Hienach suchte ich die von vielen Forschern sehr verschiedenartig beschriebenen und als Wirkungen von Frost, Kochsalz oder Wind aufgefaßten direkten Beschädigungen der Sproßteile näher zu studieren.

Sodann folgt eine Reihe von Versuchen, welche zur Erforschung der abnormen Erscheinungen in Windgegenden und ihrer Ursachen beitragen sollen.

Kapitel 1.

Allgemeine Verhältnisse im Winde.

A. Temperatur.

Versuch Nr. 1.

Ein hölzernes Gefäß wird mit 0,16 cbm lufttrockener Gartenerde bis zum Rande gefüllt und dem Luftstrome so ausgesetzt, daß derselbe in einem Neigungswinkel von 20° auf die Erde trifft.

Beleuchtung: Diffuses Tageslicht. — Die Temperaturen wurden nach $^1/_2$ stündiger Einwirkung des Windes gemessen.

Wind-Geschwindigkeit m pro Sek.	Temperatur ° C.		
	der Luft	des Bodens in 1 cm Tiefe	des Bodens in 5 cm Tiefe
Vormittag 10 Uhr.			
0	$19,_2$	$18,_1$	$17,_4$
3	$19,_2$	$18,_7$	$17,_6$
10	$19,_2$	$19,_2$	$18,_5$
Mittag 12 Uhr.			
0	22	$21,_1$	$20,_5$
3	22	$21,_7$	$20,_8$
10	22	22	$21,_4$
Nachmittag 6 Uhr.			
0	$18,_7$	$19,_4$	$20,_1$
3	$18,_7$	$19,_1$	$19,_9$
10	$18,_7$	$18,_8$	$19,_2$

Versuch Nr. 2.

Bedingungen wie vor.

Wind-Geschwindigkeit m pro Sek.	Temperatur ° C.		
	der Luft	des Bodens	
		in 1 cm Tiefe	in 5 cm Tiefe
	Vormittag 10 Uhr.		
0	18,4	17,3	16,8
3	18,4	17,9	17
10	18,4	18,4	17,7
	Mittag 12 Uhr.		
0	22,5	20,1	18,6
3	22,5	21,2	18,8
10	22,5	22,4	21
	Nachmittag 6 Uhr.		
0	17,2	19	20,1
3	17,2	17,6	20
10	17,2	17,2	19,1

Versuche Nr. 1 und 2 ergeben:

Die Temperatur lufttrockenen Bodens wird durch Bewindung des Bodens der Lufttemperatur genähert, und zwar umso rascher, je größer die Windstärke.

Versuch Nr. 3.

Die in dem Gefäße befindliche Erde wird mit 20 Gewichtsteilen Wasser befeuchtet. Die übrigen Bedingungen sind die gleichen wie bei den vorhergehenden Versuchen.

Windgeschwindigkeit m pro Sek.	Temperatur ° C.		
	der Luft	des Bodens	
		in 1 cm Tiefe	in 5 cm Tiefe
	Vormittag 10 Uhr.		
0	19,2	16	17
3	19,2	15,1	17
10	19,2	15	16,8
	Mittag 12 Uhr.		
0	23	21,3	19,2
3	23	19,8	19,1
10	23	17,9	18,4
	Nachmittag 6 Uhr.		
0	18,5	18,6	19,3
3	18,5	16,9	19,2
10	18,5	15,8	18,9

Die Temperatur des feuchten Bodens sinkt im Winde umso tiefer, je größer die Windstärke wird.

Versuch Nr. 4.

Ein großes flaches Holzgefäß — bis zum Rande mit lufttrockener Gartenerde gefüllt — wird bei direkter Sonnenbestrahlung dem Winde ausgesetzt.

Die Anstellung des Versuches ist dieselbe wie vor:

Windgeschwindigkeit m pro Sek.	Temperatur ° C. der Luft	des Bodens in 1 cm Tiefe	des Bodens in 5 cm Tiefe
0	24,5	32,8	23,1
3	24,5	30,4	23,2
10	24,5	27,6	23,5
0	27,8	37,3	24,2
3	27,8	34,9	24,2
10	27,8	32	24,5
Die Gartenerde wird mit 20 Gewichtsprozent Wasser befeuchtet:			
0	22,5	33,1	24,9
3	22,5	27,4	24,8
10	22,6	21,9	22,7

In direktem Sonnenlichte wird die Temperatur des bestrahlten Bodens durch Wind relativ mehr herabgedrückt als in diffuser Beleuchtung, und zwar umso stärker, je größer die Windgeschwindigkeit ist. — Hiebei fällt die Temperatur des feuchten Bodens intensiver als die des trockenen.

Versuch Nr. 5.

Es werden die Temperaturen der Assimilations- und Stammorgane von in Töpfen kultivierten Pflanzen bei verschiedenen Windstärken und Beleuchtungsverhältnissen gemessen.

Wind-geschwindigkeit: m pro Sekunde	der Luft	Temperatur ° C bei diffuser Beleuchtung		Temperatur ° C in direkter Sonne	
		der Blätter	der Stammteile	der Blätter	der Stammteile
		Vitis vinifera.			
0	21,4	20,9	21,2	33,1	35
3	21,4	20,7	21,1	32	34,5
10	21,5	20,4	21,1	28,7	34,1
0	23,8	23,6	23,4	35,4	36,9
3	23,9	23,3	23,4	32,2	36,5
10	23,9	23	23,2	29,4	35,8
0	20,	19,9	19,7	34,5	34,2
3	20,1	19,8	19,7	33,1	33,5
10	20,1	19,2	19,6	27,3	32,8
		Phaseolus vulgaris.			
0	22,7	22,4	22,3	39,6	34,8
3	22,7	22,2	22,3	37,2	34,1
10	22,7	21,9	22,4	32,7	33
		Impatiens parviflora.			
0	22	21,9	21,5	31,7	31,1
3	22,2	21,6	21,4	29,1	29,8
10	22,2	21,1	21,3	26,5	29,3
		Zea mais.			
0	21,1	20		38,8	
3	21,1	19,9		36,7	
10	21,2	19,5		33,4	
		Linum usitatissimum.			
0	26,3	25,9	26,1	39,4	38 9
3	26,2	26	26,1	38,1	38,2
10	26,2	25,.	26	35,6	36,1
0	20,5	20,5	20,5	37,8	37,6
3	20,5	20,5	20,5	35,5	36,1
10	20,5	20,1	20,4	35,2	33,5
0	22,6	22,4	22,4	38,3	37,5
1	22,6	22,6	22,5	37,8	37,3
3	22,6	22,6	22,5	37,2	37,2
5	22,7	22,2	22,1	36,4	37
7	22,7	22	22,4	35,9	36,4
10	22,7	21,9	22,1	35,1	35,7
14	22,8	21,5	22	34,7	35,5

Bei direkter Insolation sinkt die Temperatur bewindeter Sproßorgane umso tiefer, je größer die Windgeschwindigkeit ist.

Bei diffusem Lichte ist die Temperatur von der Wasserabgabe der Pflanzen abhängig: Die Sprosse von Pflanzen, welche im Winde — respektive bei gewissen Windstärken — die Transpiration herabsetzen (Linum usitat.), erhöhen ihre Temperatur bis höchstens zur Lufttemperatur; die Sprosse der im Winde mehr verdunstenden Pflanzen erkalten.

Temperatur.

Zusammenstellung der Resultate.

1.

Die Temperatur lufttrockenen Bodens wird im Winde der Lufttemperatur genähert, und zwar umso intensiver, je größer die Windstärke.

2.

Die Temperatur des feuchten Bodens sinkt im Winde umso tiefer, je größer die Windstärke.

3.

In direktem Sonnenlichte wird die Temperatur des bestrahlten Bodens durch Wind relativ mehr herabgedrückt als in diffuser Beleuchtung, und zwar umso stärker, je größer die Windgeschwindigkeit ist.

Hiebei fällt die Temperatur des feuchten Bodens intensiver als die des trockenen.

4.

Bei direkter Insolation sinkt die Temperatur bewindeter Sproßorgane umso tiefer, je größer die Windgeschwindigkeit.

5.

Bei diffusem Lichte ist die Temperatur von der Wasserabgabe der Pflanzen abhängig: Die Sprosse von Pflanzen, welche im Winde — respektive bei gewissen Windstärken — die Transpiration herabsetzen (Linum usitatissimum), erhöhen ihre Temperatur bis höchstens zur Lufttemperatur. Die Sprosse der im Winde mehr verdunstenden Pflanzen erkalten.

B. Transpiration.

Zu den nachstehenden Versuchen wurden entweder bewurzelte in Nährlösung erzogene Pflanzen, oder mittelst glatten unter Wasser geführten Schnittes isolierte Sprosse verwendet. — Zur Aufnahme der Wurzel respektive des unteren Stengelteiles der Sprosse und des Blattstieles einzelner Blattorgane dienten feine mit Fuß versehene Tropfgläschen, welche mit Leitungswasser etwas über die Hälfte des Fassungsvermögens gefüllt waren. —

Der luftdichte Abschluß der Gläschen wurde mittelst Bienenwachs und Kakaobutter hergestellt.

Der Transpirationsverlust wurde auf einer analytischen Wage, deren Empfindlichkeitsquotient zirka $\frac{1}{2\,000\,000}$ beträgt, gemessen.

Fixierungen von Pflanzenteilen bewirkte ich durch Anlegen eines dünnen unbesponnenen Eisendrahtes; besponnene Drähte können hier trotz sonstiger Vorzüge wegen der Hygroskopizität der Fäden, welche eine genaue Übereinstimmung des Gewichtsverlustes mit der wirklichen Transpiration der Pflanze unmöglich machen würde, nicht zur Verwendung gelangen.

Das Verhalten der Spaltenapparate beobachtete ich vor und während des Versuches, indem ich von anderen, genau denselben Bedingungen unterworfenen Pflanzen der gleichen Art dicke Flächenschnitte sofort nach der Entnahme im Mikroskop in Luft untersuchte.

Nach Abschluß des Versuches wurde jedesmal der Zustand der Spaltöffnungen des Versuchsobjektes mit demjenigen der Probepflanzen verglichen: Hatten nun die Stomata der Probepflanzen anders reagiert als die der Versuchspflanzen, so wurde dieser Versuch erneuert. In der Regel stimmte das Verhalten der Schließzellen ziemlich überein.

Um den Zusammenhang der Transpirationsgröße mit der mechanischen Widerstandsfähigkeit der Pflanze gegen die betreffende Windstärke zu kontrollieren, bemerkte ich bedeutendere Biegungen der Pflanzen in der betreffenden Rubrik durch einen Stern (*).

Versuch Nr. 1.

Linum usitatissimum. Wasserkultur.

Länge des Sprosses: 4 cm.

Länge der Wurzel: $5,_7$ cm.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Transpiration während 5 Minuten mg	Stomata
I. In fixiertem Zustande.		
0	$0,_1$	Offen
10	$0,_2$	Geschlossen
II. Frei.		
0	$0,_{07}$	Teilweise geschlossen
10	$0,_9$ *	Geschlossen

Versuch Nr. 2.

Linum usitatissimum. Wasserkultur.

Länge des Sprosses: 3,4 cm.

Länge der Wurzel: 5 cm.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten	Stomata
m	mg	
	Frei.	
0	1	Offen
1	0,2	Geschlossen
10	1,3 *	Geschlossen
	Fixiert.	
0	0,9	Offen
3	0,2	Geschlossen
10	0,4	Geschlossen
14	0,6	Geschlossen

Versuch Nr. 3.

Helianthus annuus. Wasserkultur.

Keimpflanze mit 2 Kotyledonen.

Länge des Sprosses: 5,7 cm.

Länge der Wurzel: 7,9 cm.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten	Stomata
m	mg	
	Fixiert.	
0	3	Offen
1	8,5	Offen
0	2,8	Offen
10	10	Offen
1	9	Offen
	Frei.	
0	1,5	Offen
3	4	Offen
10	13 *	Offen

Versuch Nr. 4.

Saxifraga Andrewsii.
Ganze Pflanze mit 11 Blättern (Blattrosette).
Gewicht der Rosette: 920 mg.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Transpiration während 5 Minuten mg	Stomata
	Frei.	
0	0,5	Offen
1	1,3	Offen
0	0,8	Offen
10	1,5	Etwas verengert
	Fixiert.	
0	0,6	Offen
3	1,5	Offen
10	1,6	Etwas verengert

Versuch Nr. 5.

Saxifraga Hosti. Ausgewachsenes normales Blatt.
Gewicht des transpirierenden Teiles: 225 mg.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Transpiration während 5 Minuten mg	Stomata
	Frei.	
0	0,1	Offen
1	2,4	Offen
0	0,08	Offen
10	2,2	Offen
	Fixiert.	
0	0,2	Offen
1	2,7	Offen
10	2,9	Offen
14	3	Offen

Versuch Nr. 6.

Saxifraga Stabiana. Ausgewachsenes normales Blatt.

Gewicht des transpirierenden Teiles: 180 mg.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde (m)	Transpiration während 5 Minuten (mg)	Stomata
	Frei.	
0	0,08	Offen
1	0,1	Offen
3	0,1	Offen
10	0,15	Etwas verengert
	Fixiert.	
0	0,08	Offen
1	0,1	Offen
3	0,1	Etwas verengert
10	0,17	Etwas verengert

Versuch Nr. 7.

Hydrocotyle bonariensis. Ausgewachsenes normales Blatt.

Gewicht des transpirierenden Teiles: 1220 mg.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde (m)	Transpiration während 5 Minuten (mg)	Stomata
	Fixiert.	
0	5	Offen
1	8	Etwas verengert
10	10	Etwas verengert
	Frei.	
0	4,5	Offen
1	5,2	Etwas verengert
3	6,5	Etwas verengert
10	15,7 *	Etwas verengert

Versuch Nr. 8.

Impatiens parviflora. Weiches dünnes ausgewachsenes Blatt.
Gewicht des transpirierenden Teiles: 1008 mg.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Transpiration während 5 Minuten mg	Stomata
	Fixiert.	
0	11,5	Offen
1	11	Etwas verengert
3	12,3	Etwas verengert
10	13	Teilw. geschlossen
	Frei.	
0	11	Offen
1	19,7	Etwas verengert
0	10,5	Etwas verengert
3	28,6 *	Etwas verengert
0	9	
10	41 *	Teilw. geschlossen

Versuch Nr. 9.

Impatiens parviflora. Ausgewachsenes steifes Blatt.
Gewicht des transpirierenden Teiles: 965 mg.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Transpiration während 5 Minuten mg	Stomata
	Fixiert.	
0	6	Offen
1	8,3	Offen
3	8,5	Etwas verengert
10	9	Z. Teil geschlossen
	Frei.	
0	6,2	Offen
1	7,8	Offen
3	8	Etwas verengert
10	11,5	Etwas verengert
14	16,8 *	Z. Teil geschlossen

Versuch Nr. 10.

Impatiens parviflora. Biegsamer, schlank erwachsener Stengel.
Die durch Abschneiden der Blätter entstandenen Wunden wurden mit Kakaobutter verschlossen.
Gewicht des transpirierenden Teiles: 1070 mg.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten
m	mg
Fixiert.	
10	4,9
Frei.	
10	12,4 *

Versuch Nr. 11.

Impatiens parviflora. Biegsamer dünner Stengel.
Die durch Entfernen der Blätter entstandenen Wunden wurden verschlossen wie vor.
Gewicht des transpirierenden Teiles 986 mg.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten
m	mg
Fixiert.	
0	4,1
3	4,1
10	4,4
0	3,7
14	4,8
Frei.	
0	4
1	4,5
3	6
10	11,3 *
0	1,9
10	10,2 *
14	13,8 *

Versuch Nr. 12.

Impatiens parviflora.

Biegungsfester Stengel.

Gewicht des transpirierenden Teiles:
1230 mg.

Im übrigen wie vor.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde (m)	Transpiration während 5 Minuten (mg.)
Fixiert.	
0	3,5
1	3,8
3	4
7	4,1
10	4,1
14	4,2
0	3,1
14	4,3
Frei.	
0	3,3
1	3,4
3	3,4
7	3,9
10	4
14	5,1
0	2,7
14	5,5

Versuch Nr. 13.

Unverholzter Zweig von Fagus silvatica.

Gewicht des transpirierenden Teiles:
1435 mg.

Die Blattnarben werden mit Kakaobutter verschlossen.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten
m	mg.
Fixiert.	
0	5,5
3	5,9
10	6,3
14	6,4
0	5,1
14	6,5
Frei.	
0	5,5
1	5,8
3	6,4
7	7,5
10	11,1 *
14	13,8 *
0	4,7
7	6,9
10	10,8 *
14	13,5 *

Versuch Nr. 14.

Unverholzter Zweig von Ulmus effusa.

Gewicht des transpirierenden Teiles:
1620 mg.

Die übrigen Bedingungen wie vor.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten
m	mg.
	Fixiert.
0	1,9
1	2,2
3	2,6
7	2,6
10	3,2
12	3,3
14	3,8
	Frei.
0	2
1	2,1
3	2,8
7	4,5
10	7,2
12	9,1
14	11,5
0	1,3
5	3,4
10	9,1 *
14	12,7 *

Versuch Nr. 15.

Biegsamer, dünner, verholzter Zweig von Ulmus Effusa zur Zeit der Entlaubung.

Alter: Einjährig.
Gewicht des transpirierenden Teiles:
2105 mg.

Im übrigen wie vor.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten
m	mg.
Fixiert.	
0	0,4
1	0,7
3	0,9
5	1,2
7	1,2
10	1,3
12	1,3
14	1,5
0	0,1
Frei.	
0	0,5
1	0,6
3	0,9
5	2,1
7	2,7
10	3,8
12	4,5 *
14	6,9 *
0	0,2
8	2,9

Versuch Nr. 16.

Biegungsfester Zweig von Ulmus effusa
zur Zeit der Entlaubnng.

Alter: Einjährig (verholzt).

Gewicht des transpirierenden Teiles:
2515 mg.

Im übrigen wie vor.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten
m	mg.
Fixiert.	
0	0,1
1	0,3
3	0,5
8	0,5
10	0,7
12	0,8
14	0,8
0	0
Frei.	
0	0,3
1	0,7
3	0,8
8	0,9
10	0,9
12	1
14	1
0	0,1
5	0,6

Versuch Nr. 17.

Biegsamer Zweig von Alnus glutinosa.

Alter: Einjährig (verholzt).

Gewicht: 2290 mg.

Im übrigen wie vor.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten
m	mg.
Fixiert.	
0	0,7
1	0,9
3	1,2
5	1,8
7	2
10	2,1
14	2,1
Frei.	
0	0,4
1	0,6
3	0,9
5	1,3
7	2,8
10	4,9
14	7,4 *

Versuch Nr. 18.

Biegungsfester Zweig von Alnus glutinosa, (verholzt).

Gewicht: 2350 mg.

Im übrigen wie vor.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde	Transpiration während 5 Minuten
m	mg.
Fixiert.	
0	0,2
1	0,6
3	0,9
5	1,4
7	1,8
10	2,5
12	2,4
14	2,9
Frei.	
0	0,1
1	0,5
3	0,7
5	1,2
7	1,9
10	2,8
12	3,1
14	3,3

Resultate.

1.

Die Spaltöffnungen der meisten untersuchten Pflanzenblätter verengern oder schließen sich nach kürzerer oder längerer Bewindung.

2.

Wind setzt die Transpiration derjenigen Pflanzen, deren Spaltenapparate sich bald schließen, solange herab, als starke Biegungen der Sproßorgane nicht eintreten.

3.

Die größeren Windgeschwindigkeiten erhöhten die Wasserdampfabgabe nicht fixierter Sprosse umso rapider, je geringer die mechanische Festigkeit der Versuchspflanzen gegenüber der Windstärke war.

Als Ursache dieses vermehrten Wasserverlustes dürfte anzunehmen sein:

a) Die schnellere Erneuerung der Interzellularluft durch die mit den Biegungen verbundenen Volumänderungen der Interzellularen.[1])

b) Erhöhte Wasserausscheidung durch die Epidermis und in die Interzellularräume infolge des Überdruckes, wie er in turgeszenten Zellen entsteht durch die Spannungen, welche bei mechanischer Beanspruchung hervorgerufen werden. Diese Spannungen können bei starker Biegüng eine solche Höhe erreichen, daß die Zellwände durch den in ihrem Innenraume befindlichen Zellsaft zersprengt werden.

Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet wird die Bedeutung steifer Blatt- und Stammorgane für Pflanzen trockener — respektiv zeitweilig trockener — Gegenden verständlich. Auch die eigentümlichen Blattformen der Alpenflora, welche anderweitig auf Beleuchtungs- und Luftverhältnisse zurückgeführt wurden, möchte ich als Anpassungserscheinungen an die bewegte Atmosphäre in Anspruch nehmen.

4.

Fixierte oder von Natur aus steife Blatt- und Zweigorgane erhöhen mit zunehmender Windstärke die Wasserdampfabgabe relativ wenig, obgleich die lokale Erschütterung oft außerordentlich stark ist.

Diese Erscheinung weist gleichfalls auf die Biegungen als Hauptursache der Transpirationssteigerung im Winde hin.

C. Assimilation.

Um Aufschlüsse über die Assimilationstätigkeit grüner Pflanzen im Winde zu erlangen, untersuchte ich den Stärkegehalt von Blättern, welche eine gewisse Zeit, — gewöhnlich 6 bis 9 Stunden verschiedenen Windstärken ausgesetzt waren; vorher wurden die Versuchspflanzen zwei Tage in einen Dunkelraum gestellt, um das Entstärken der Blattorgane zu bewirken. — Vor Beginn jedes Versuches entnahm ich allen Blättern Probestückchen, welche ich auf eventuell noch vorhandene Stärke prüfte.

Zur Bestimmung der gebildeten Stärkemengen bediente ich mich der makroskopischen Methode nach Sachs und kontrollierte zugleich im Mikroskop die relative Größe der Stärkekörner: Hiedurch gewann ich einen Überblick über die räumliche Verteilung der Assimilate und zugleich über die Intensität der Assimilation.

Als Maßstab für letztere nahm ich die Größenverhältnisse der Stärkekörner: Die Durchschnittsgröße der Körner des Vergleichsblattes, welches

[1]) Anmerkung: Vgl. J. Sachs, Lehrb. d. Bot. 1870, Seite 580—581.

Auch Versuch Nr. III B. 10 — Das Verhalten geschlossener Spaltenapparate betreffend — ist hier von Belang. — Im übrigen vergleiche man M. Westermaier: „Über Spaltöffnungen und ihre Nebenapparate." Seite 75.

in Luftruhe assimiliert hatte, erhielt die Verhältniszahl 10; die durchschnittliche Korngröße der — anderen Bedingungen unterworfenen Blätter wurde mit der ihr jeweilig zukommenden Verhältniszahl an die normale Korngröße angeglichen, sodaß die relative Intensität der Stärkebildung der zu vergleichenden Blätter in Form einer Proportion ersichtlich ist. (Rubrik Nr. 5.)

Zu diesen Versuchen verwendete ich ausschließlich in Töpfen kultivierte gesunde und gut bewässerte Pflanzen, um die natürlichen Verhältnisse möglichst nachzuahmen, respektive um die übrigen Bedingungen einer ausgiebigen Assimilation günstig zu gestalten.

Windgeschwindigkeit per Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
Impatiens parviflora.				
Versuch Nr. 1.				
0	Blätter von größerer mechanischer Widerstandsfähigkeit.	Normal [1])	Die ganze Lamina zeigt gleichmäßig tiefblaue Färbung.	10 :
3		desgl.	desgl.	9 :
10		desgl. *	desgl.	6
Versuch Nr. 2.				
0	Blätter von mittlerer mechanischer Widerstandskraft.	Normal.	Lamina gleichmäßig tiefblau.	10 :
3		Normal. Von flachen Falten durchzogen.	Die flachen Falten sind durch hellere Farbe in tiefblauem Grunde gekennzeichnet.	8 :
10		Normal. In tiefen Falten liegend.	Die Falten sind weiß; die übrigen Teile tiefblau.	4
Versuch Nr. 3.				
0	Blätter von großer Biegungsfestigkeit.	Normal.	Gleichmäßig tiefblaue Färbung	10 :
3		Invers. Ohne Falten.	Unterseite dunkler blau als Oberseite.	8 :
10		desgl. *	desgl.	8

[1]) „Normal" bezeichnet hier diejenige Lage des Blattes, bei welcher die physiologische Oberseite nach oben und die physiologische Unterseite abwärts gekehrt ist. — Die entgegengesetzte Lage nenne ich „invers".

* Starke Bewegung des Blattes wird durch Beifügen eines Sternes bezeichnet.

Impatiens parviflora.

Versuch Nr. 4.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
0	Blätter von mittlerer mechanischer Widerstandsfähigkeit.	Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	10
3		Invers. Die Spreite zeigt flache Falten.	Die Falten zeichnen sich durch hellblaue Streifen auf tiefblauem Grunde ab.	6
10		Invers. Die Spreite liegt in tiefen Falten.	Die nicht gefalteten Teile sind tiefblau, die gefalteten Flächen hellblau bis weiß.	3

Versuch Nr. 5.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
0	Blätter von mittlerer mechanischer Festigkeit.	Invers fixiert.	Gleichmäßig tiefblaue Farbe.	10
3		Invers fixiert.	desgl.	8
10		Invers fixiert.	desgl.	7

Vitis vinifera.

Versuch Nr. 6.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
0	Blätter von großer Biegungsfestigkeit.	Normal.	Gleichmäßig tiefblaue Färbung.	10
3		Normal.	desgl.	8
10		Normal. *	desgl.	7

Versuch Nr. 7.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
0	Blätter von mittlerer Festigkeit.	Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	10
3		Normal. Leichte Falten schlagend.	Die Falten dokumentieren sich durch hellere Färbung	8
10		Normal. In tiefen Falten liegend.	Die Falten sind weiß. Die übrigen Teile tiefblau.	3

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
		Vitis vinifera. Versuch Nr. 8.		
0	Blätter von mittlerer Festigkeit	Normal fixiert.	Gleichmäßig tiefblau.	10 : 7 : 7
3		desgl.	desgl.	
10		desgl.	desgl.	
		Versuch Nr. 9.		
0	Blätter von mittlerer Festigkeit.	Invers fixiert.	Auf der Unterseite gleichmäßig tiefblau, auf der Oberseite etwas heller.	10 : 7 : 6
3		desgl.		
10		desgl.	desgl.	
		Versuch Nr. 10.		
0	Blätter von mittlerer Konsistenz.	Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	10 : 8 : 1
3		Normal.	desgl.	
10		Die Lamina wendet sich den Sonnenstrahlen nahezu parallel.	Auf weißer Fläche erscheinen blaue Flecke, welche bessere Beleuchtungsbedingungen hatten.	
		Impatiens parviflora. Versuch Nr. 11.		
0	Blätter von mittlerer Konsistenz.	Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	10 : 7 : 2
3		Normal.	desgl.	
10		Die Lamina legt sich in Falten und stellt sich den Sonnenstahlen nahezu parallel.	Auf der weißen Fläche treten einige besser beleuchtete Streifen tiefblau hervor.	

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
		Zea mais.		
		Versuch Nr. 12.		
0	Blätter von mittlerer Konsistenz.	Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	10 : 7 : 1
3		Normal. *	desgl.	
10		In halber Profilstellung gegen die Sonne. *	Die schlecht beleuchteten Teile der Blattspreite sind weiß, die übrigen Partieen sind blau.	
		Versuch Nr. 13.		
0	Blätter von mittlerer Konsistenz.	Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	10 : 5 : 7
3		Die obere Hälfte normal, der der Basis anliegende Teil invers.	Der mittlere infolge einer Faltung schlecht beleuchtete Teil des Blattes ist weiß. Die obere und basale Blattpartie ist tiefblau.	
10		Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	
		Versuch Nr. 14.		
0	Blätter von mittlerer Konsistenz.	Invers.	Gleichmäßig tiefblaue Farbe. Die Unterseite dunkler als die Oberseite.	10 : 2 : 3
3		Die Sonnenstrahlen fallen infolge der schiefen Lage des Blattes in sehr spitzem Winkel auf. Die Basis günstig beleuchtet.	Die Spreite ist schwach blau gefärbt; nur der basale Teil ist tiefblau.	
10		Die Spitze ist normal und gut beleuchtet; der mittlere Teil des Blattes schlägt Falten. Die Basis ist gut beleuchtet.	Die Spitze ist tiefblau. Der in Falten gelegene Teil des Blattes zeigt weiße Streifen und Flecke. Die Basis ist tiefblau.	
		Versuch Nr. 15.		
0	Blätter von mittlerer Konsistenz.	Invers.	Gleichmäßig tiefblau. Oberseits blasser als unterseits.	10 : 6 : 6
3		Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	
10		Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner.
		Zea mais.		
		Versuch Nr. 16.		
0	Blätter von mittlerer Konsistenz.	Normal fixiert.	Gleichmäßig tiefblau. Oberseite dunkler als Unterseite.	10 : 9 : 9
3		desgl.	desgl.	
10		desgl.	desgl.	
		Versuch Nr. 17.		
0	Blätter von mittlerer Konsistenz.	Invers fixiert.	Die physiologische Unterseite ist tiefdunkelblau gefärbt; die Oberseite ist blaßblau.	10 : 9 : 9
3		desgl.		
10		desgl.		
		Impatiens parviflora.		
		Versuch Nr. 18.		
0	Sehr dünne, große und schnellerwachsene Blätter. (Schattenblätter.)	Normal fixiert.	Gleichmäßig tiefblau.	10 : 8 : 7
3		Normal fixiert.	desgl.	
10		Normal fixiert.	desgl.	
		Versuch Nr. 19.		
0	Sehr dünne, große Schattenblätter.	Invers fixiert.	Physiologische Unterseite gleichmäßig tiefblau. Oberseite blaßblau.	10 : 9 : 8
3		desgl.	desgl.	
10		desgl.	desgl.	

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
		Impatiens parviflora.		
		Versuch Nr. 20.		
0	Sehr dünne, große Schattenblätter.	Normal.	Gleichmäßig dunkelblau.	10 :
3		Die nach 3 Stunden angewelkte Spreit nimmt verschiedene Lagen gegen die Sonne an. *	Die gut beleuchteten Teile der Spreite hellblau. Die schlecht beleuchteten Falten sind weiß.	2 :
10		Die Spreite stirbt bis auf einige der Basis anliegende Reste ab. * (Zerknickungen.)	Weiß. Einige Teile nahe der Basis blau.	0
		Vitis vinifera.		
		Versuch Nr. 21.		
0	Sehr dünne, große Schattenblätter.	Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	10 :
3		Die nach einigen Stunden angewelkte Spreite legt sich in Falten.	Die Falten sind weiß. Die gut beleuchteten Teile tiefblau.	3 :
10		Die Partien zwischen den Hauptnerven sterben ab. Die ganze Spreite welkt. *	Einige gut beleuchtete Flecke nahe den Hauptnerven sind tiefblau. — Im Uebrigen ist die Lamina weiß.	0,5
		Versuch Nr. 22.		
0	Sehr dünne, große Schattenblätter.	Invers fixiert.	Gleichmäßig tiefblau.	10 :
3		Invers fixiert.	desgl.	8 :
10		Normal fixiert.	desgl.	6

Impatiens parviflora.

Versuch Nr. 23.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
0	Erwachsene Blätter von mittlerer Festigkeit.	Normal und senkrecht zu den auftreffenden Sonnenstrahlen fixiert.	Oberseite gleichmäßig tiefblau, Unterseite blaßblau.	10 :
0		Invers und senkrecht zu den auftreffenden Sonnenstrahlen fixiert.	Unterseite tiefblau, Oberseite blaßblau.	9 :
3		Die physiologische Blattoberseite ist senkrecht zu den Sonnenstrahlen und dem Winde entgegengerichtet fixiert.	Oberseite gleichmäßig tiefblau, Unterseite blaßblau.	8 :
3		Die physiologische Blattunterseite ist . . . desgl. wie oben.	Unterseite gleichmäßig tiefblau, Oberseite heller.	7 :
3		Das Blatt schlägt nach allen Richtungen im Winde.	Den Stellungen der Blattspreite entsprechend wechselt die Färbung von dunkelblau bis graublau.	4 :
10		Die physiologische Blattoberseite ist senkrecht zu den auftreffenden Sonnenstrahlen und dem Winde entgegen fixiert.	Die Blattoberseite ist tiefdunkelblau, die Unterseite blaßblau.	8 :
10		Die physiologische Blattunterseite ist senkrecht . . . desgl. wie vor.	Die Unterseite ist gleichmäßig dunkelblau, die Oberseite heller.	7 :
10		Das Blatt schlägt frei nach allen Richtungen im Winde.*	Den verschiedenen Beleuchtungsbedingungen entsprechend wechselt die Farbe von dunkelblau bis weiß.	1

Versuch Nr. 24.

Windgeschwindigkeit pro Sekunde m	Beschreibung des Blattes	Lichtlage und Verhalten des Blattes im Winde	Sachs'sche Jodprobe. Färbung der Lamina.	Verhältnis der Durchschn.-Größe der Stärkekörner
0	Feste dicke Sonnenblätter.	Normal.	Gleichmäßig tiefblau.	10 :
3		Normal.	desgl.	9 :
10		Normal. Horizontal hin- und herschwingend. *	desgl.	8 :
10		Normal fixiert.	desgl.	8

Versuch Nr. 25.

Ausgewachsene Blätter von Impatiens parviflora, Tilia grandifolia, Vitis vinifera, werden durch in der Hand ausgeführte Faltungen und Biegungen der Lamina zum Anwelken gebracht, jedoch an ihren Mutterpflanzen belassen:

Nach 6 Stunden hatten die angewelkten Blätter nichts assimiliert, während die daneben befindlichen Blätter derselben Pflanzen alle mehr oder weniger viel Stärke gebildet hatten.

Resultate — betreffend die Assimilation im Winde.

1.

Die Assimilation ist im Winde regelmäßig geringer als in ruhiger Luft.

2.

Die durch den Anprall des Windes bewirkte unnatürliche Blattlage setzt die Assimilation insbesondere dann herab, wenn die Beleuchtung ungünstig beeinflußt wird.

3.

Die Inversion der Blattspreite übt einen relativ geringen Nachteil auf die Stoffbildung aus, da in diesem Falle das Schwammparenchym der Blattunterseite die verminderte Tätigkeit der physiologischen Blattoberseite durch erhöhte Assimilation zum Teil ausgleicht.

4.

Die freie Bewegung der Blattorgane an sich hat keinen erkennbaren direkten Einfluß auf die Assimilation; vorausgesetzt, daß die Spreite in günstiger Beleuchtung verbleibt und durch die mechanische Beanspruchung nicht zum Welken gebracht wird. (Vgl. die festen Sonnenblätter).

5.

Die mechanisch zum Welken gebrachten Blattorgane assimilieren nicht.

6.

Widerstandsfähigere, feste Blätter assimilierten im Winde stets relativ besser als die weichen, dünnen Schattenblätter:

a) Letztere lassen sich schon durch geringere Windstärken aus ihrer natürlichen Lage und Form bringen, legen sich in Falten und nehmen oft ungünstige Lichtstellungen ein.

b) In stärkerem Winde welken diese dünnen Blätter, sistieren die Stoffbildung, und sterben bei längerer Dauer des Windes überhaupt ab.

7.

Werden solche Schattenblätter fixiert, so verhalten sie sich ähnlich im Winde wie die robusten Sonnenblätter:

Sie welken in der Regel nicht, und reagieren nur schwach auf verschiedene Intensität der Windstärke durch etwas verminderte Assimilation bei größerer Windgeschwindigkeit.

Kapitel 2.

Pathogene Einwirkung des Windes auf Wurzel und unterirdische Sprossteile.

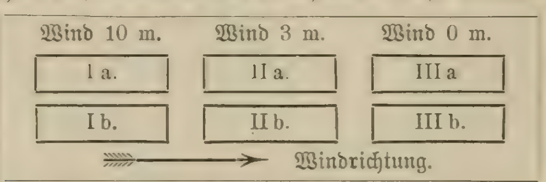
Versuch Nr. 1.

Auf einem durch Glasdach geschützten Gartenbeete wurden 6 je 200 qcm große Flächen so abgesteckt, daß je 2 nebeneinanderliegende von Wind 10 m pro Sekunde, je 2 von Wind 3 m pro Sekunde bestrichen wurden, während die letzten beiden durch Glaswände gegen Luftzug geschützt waren.

Auf diese abgesteckten Flächen wurden am 20. Juli gemischte Saaten von Linum usitatissimum, Helianthus annuus und Phaseolus vulgaris in gleicher Dichtigkeit ausgeführt und von den Keimpflanzen je 60 Stück belassen.[1])

Hierauf wurde je eine der gleichen Windstärken zu unterwerfenden Parallelflächen mit einer 1 bis 2 mm hohen Schicht von Buchenlaub bedeckt und das Laub mittelst feiner Holznadeln verankert.

Die Flächen I b, II b und III b erhielten diese Streudecke, während



I a, II a und III a den nackten Boden zeigten.

Nachdem die Saat gleichmäßig entwickelt war, wurde die Bewindung am 1. August 1905 begonnen.

Die oberirdischen Sproßteile wurden mittelst kleiner Glasscheibchen vor direktem Winde geschützt.

Bis zum 1. August wurde die Erde gleich feucht erhalten; ab 1. August wurde nicht mehr gegossen.

[1]) | | |
|---|---|
| Linum usitat. | 40 Stück |
| Helianthus ann. | 10 „ |
| Phaseolus vulg. | 10 „ |
| Sa. | 60 Stück. |

Datum	Barometerstand	Relative Luftfeuchtigkeit	Temperatur ° Cels.		Anzahl der durch Wurzeltrocknis getöteten Pflanzen:					
August 1905	mm	%	max.	min.	Ia.	Ib.	IIa.	IIb	IIIa	IIIb.
1	757	87	24,3	10,7	—	—	—	—	—	—
2	756,1	86	25	14,4	—	—	—	—	—	—
3	754,2	70	22,9	11,5	3	—	—	—	—	—
4	753,2	81	28,3	16,6	4	—	2	—	—	—
5	755	86	30,3	16	1	—	1	—	—	—
6	758,5	82	22,3	14,8	13	—	7	—	—	—
7	761,5	87	20	9,7	9	—	5	—	—	—
8	758,7	69	21,9	13,5	15	—	16	—	—	—
9	759,7	80	25,1	12,4	11	2	8	—	—	—
Überlebende Pflanzen:					*4	58	21	60	60	60

* Diese 4 Pflanzen (ein Linum, ein Helianthus und 2 Phaseolus-Keimlinge) hatten die am tiefsten reichenden Wurzeln. Die oberen Seitenwurzeln sind vertrocknet.

Resultate:

Im Zusammenhalt mit den Ergebnissen der das Wachstum betreffenden Versuche Nr. 1 mit 6 lassen sich nachstehende Schlüsse auf die pathologische Beeinflussung der unterirdischen Pflanzenteile durch Wind ziehen:

1.

Die durch Wind bewirkte Austrocknung des Erdbodens (vergl. Wachstumsversuche Nr. 1 mit 6) erschwert eine genügende Wasserversorgung der Pflanze und führt eventuell den Trockentod von Wurzel- und Sproßteilen oder der ganzen Pflanze herbei.

2.

Eine (organische) Bodendecke verhütet in hervorragender Weise übermäßige Austrocknung des Bodens durch Wind.

3.

Tiefwurzelnde Pflanzen erweisen sich auf bewindeten Örtlichkeiten widerstandsfähiger als flachwurzelnde: Auslese durch Wind.

4.

Die mechanische Beanspruchung des Wurzelsystems und der unterirdischen Stammteile (vergl. Beschädigung der Hypokotyle durch Reibung im Boden) führt bei genügender Windstärke zu Verletzungen (Abschürfung, Bruch, Zerreißung &c.).

Kapitel 3.

Pathogene Einwirkung des Windes auf oberirdische Pflanzenteile.

Längere Zeit andauernde Winde von größerer Geschwindigkeit verändern oft in auffallender Weise das ganze Vegetationsbild einer Landschaft: Die Blätter von Bäumen, Sträuchern oder auch niedrigen Kräutern und Gräsern erhalten mißfarbige Flecke und sterben teilweise ab; junge Stammorgane zeigen Verfärbungen der grünen Rinde und gehen ebenso wie die älteren Stammteile aus oft nicht erkennbaren Ursachen zu Grunde.

Da diese Erscheinungen in der wissenschaftlichen Literatur sehr widersprechend geschildert und von vielen Gelehrten überhaupt nicht auf Wind, sondern auf sonstige Einflüsse zurückgeführt werden, so war es mein Ziel, durch Beobachtung des Verhaltens möglichst vieler und verschiedenartiger Pflanzen im Winde allgemeinere Schlüsse auf die lediglich durch die Bewegung der Luft bedingten lokalen Krankheiten der pflanzlichen Organe und ihre jeweiligen spezifischen Gründe ziehen zu können.

Blattorgane und jüngere Stammteile reagieren am besten auf Wind; daher kamen diese für das Studium der pathogenen Einflüsse der Luftbewegung hauptsächlich in Betracht. — Nachdem ich mich über die verschiedenen Reaktionen dieser Sproßteile durch die Ausführung einer großen Anzahl von Probeversuchen orientiert hatte, stellte ich planmäßige Versuchsreihen zusammen, um allgemeinere Resultate über die akuten Erkrankungen in bewegter Luft zu erlangen. Um den Einfluß der mechanischen Bewegung in jedem Falle klar zu legen, brachte ich stets ein möglichst gleichartiges Objekt in fixiertem und vor Verletzungen geschütztem Zustande zu gleicher Zeit in gleiche oder größere Windstärke.

A. Krankheiten der oberirdischen Pflanzenteile.

a) Blattorgane.

I. Laubblätter.

Bei den folgenden Versuchen wurden — soferne nicht anderes beigefügt wird — ganze in gut bewässerten Tontöpfen stockende Pflanzen verwendet, welche vor dem Ventilator eine solche Stellung erhielten, daß die zu beobachtenden Blätter einer Windstärke von zirka 10 m pro Sekunde ausgesetzt waren.

Sobald einzelne Zweige auf das Verhalten der Blätter untersucht wurden, fixierte ich den Zweig, um ihn frisch zu erhalten. Der Trennungsschnitt von der Mutterpflanze geschah, wenn möglich, unter Wasser; die

möglichst großen Zweige wurden sodann in einem Wassergefäß stehend vor den Ventilator gebracht.

Die Windgeschwindigkeit betrug bei diesen Versuchen regelmäßig 10 m; geringere Windstärken üben auf mechanisch widerstandsfähigere Pflanzenteile überhaupt keine Krankheit erregenden Einflüsse aus.

Acer pseudoplatanus.

1. Junges Blatt, vor der Periode der größten Streckung.

Durch Reibung eines seitlich befindlichen älteren Blattes entstehen auf der Oberseite des Versuchsblattes am zweiten Tage dunkelgrüne Flecke auf den besonders erhabenen Partien, welche nach einigen Stunden eine braune Farbe annehmen.

Der Flächenschnitt zeigt im Mikroskop viele Verletzungen der Epidermis.

2. Voll entfaltetes jüngeres Blatt.

Zwischen dem Mittelnerv und einem Hauptnerven treffen zwei Falten gegeneinander und es entsteht an dieser Stelle in dem Blattgewebe ein dunkelunterlaufener Knick. Eine Anzahl von Elementen des Parenchyms und der Gefäßbündel ist zerdrückt und färbt sich in einer Ausdehnung von zirka 0,5 qcm dunkelgrün, nach einigen weiteren Stunden diamantglänzend braungrün und nach einigen Tagen kaffeebraun. —

Der luvseitige Blattrand biegt sich gegen die Leeseite hin stark um; hiedurch kommen Winkel bis zu 75° zustande, deren Entfernung vom Blattrand durchschnittlich 0,8 cm beträgt. — Die in solchen scharfen Falten liegenden Zellkomplexe zeigen durch plötzlich auftretende Dunkelfärbung innere Zerquetschung an. — Nachdem durch das teilweise Absterben der Lamina in dieser Falte die Randpartie mehr oder weniger isoliert dasteht, stirbt auch diese binnen 24 Stunden auf der Luvseite völlig ab.

Ein Nachbarblatt bewegt sich pendelartig über dem zu beobachtenden Ahornblatte, so daß seine Spitze das Stück eines Kreisbogens auf der Oberseite des letzteren beschreibt: Die bestrichene Fläche färbt sich nach 30 Stunden diamantglänzend grünlich-braun.

Die sofortige Untersuchung im Mikroskop ergab, daß die Epidermiszellen durch mechanische Gewalt zerrieben sind.

Ein daneben befindliches fixiertes Probeblatt bleibt gesund.

3. Altes, mit starker Cuticula versehenes Blatt von geringer Dicke. (Schattenblatt).

Durch das Zusammentreffen mehrerer Falten entsteht ein offener Bruch in dem nur von schwachen Nervenanastomosen durchzogenen Gewebe zwischen den Hauptnerven. Ungefähr 0,5 qcm des anstoßenden Gewebes sterben infolge vielfacher Knickungen ab.

Nach 7 Stunden entsteht eine scharfe Falte zwischen dem Medianus und dem benachbarten linken Hauptnerven: Das Gewebe in der Falte wird allmählich grünlich-grau und durchsichtig. Es zeigt sich vertrocknet.

Durch starkes Schlagen gegen den Mutterzweig faltet sich die basale Partie der Lamina: Die scharfgefalteten Gewebe vertrocknen.

Ein gleichartiges fixiertes Probeblatt bleibt unter gleichen Windbedingungen gesund.

4. Altes festes Sonnenblatt.

Das Blatt wird nicht erheblich gefaltet, schlägt aber mit dem leeseitigen Rande intensiv gegen die rauhe Borke des Stämmchens.

Nach 3 Tagen ist das Blatt gesund, und nur die Epidermis der gewetzten Randpartie gebräunt und teilweise vollständig abgeschürft.

Ein gleichartiges fixiertes Probeblatt bleibt ohne Beschädigung.

Acer platanoides.

1. Junges Blatt, vor der Periode der größten Streckung.

Nach 8tägiger Bewindung ist das Blatt ebenso wie ein fixiertes Probeblatt unbeschädigt.

2. Junges Blatt, völlig entfaltet.

Der Medianus wird nach 4 Stunden im unteren Drittel geknickt. Auf der leeseitigen Blatthälfte treten durch Andrücken an den Zweig scharfe Falten auf, in deren Grunde das Gewebe stellenweise zerquetscht wird und dunkelgrüne Färbung annimmt. — Die Blattunterseite reibt stellenweise an dem Mutterzweig und weist nach einem Tage auf den hier vorstehenden Blattnerven durch Abwetzen der Epidermis entstandene braune Fecke auf.

Das fixierte Probeblatt ist gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Trotz großer Härte der Cuticula und der Blattnerven ist die Widerstandsfähigkeit gegen Biegung infolge der geringen Dicke der Lamina nur gering.

Von den Buchten zwischen den Blattlappen laufen gegen die Basis hin scharfe Falten.

Nach 4 Stunden zeigt die Cuticula im Mikroskop grobe Sprünge und Risse an besonders verbogenen Teilen der Lamina.

Nach Ablauf von 10 Stunden sind die Gewebe der schärferen Falten vertrocknet. — Farbe: fahlgrün.

Das fixierte Probeblatt ist unverändert.

4. Altes Sonnenblatt.

Nach dreitägiger Einwirkung von Wind ist keinerlei Veränderung zu

konstatieren, obwohl die mit fester Cuticula versehene Oberseite sehr stark an dem Stämmchen reibt.

Fixiertes Probeblatt: Ebenfalls gesund.

Acer campestre.

1. Junges noch gefaltetes Blatt.

Der Rand färbt sich, soweit ein daneben befindliches Blatt daran schlägt, braun und vertrocknet.

Die Untersuchung mit der Lupe läßt grobe Verletzungen der getöteten Randgewebe erkennen. —

Sodann wird das peitschende Blatt entfernt: Binnen weiteren 5 Tagen erleidet das Blättchen keine krankhafte Veränderung mehr.

2. Junges, völlig entfaltetes Blatt.

Die Blattlappen werden stark gegeneinander gebogen, sodaß tiefe Falten in dem von den Blattbuchten gegen die Basis verlaufenden schwachen Gewebe auftreten. — Hiedurch werden die im Grunde der Falten liegenden Zellkomplexe zerdrückt, sodaß zwei bis zur Mitte der Basis verlaufende Streifen toten Gewebes die Lamina durchsetzen. — Die Farbe der zerquetschten Zellkomplexe geht sofort in dunkelgrün und nach zwei Tagen in braun über.

Die Blattspreite nähert sich auf solche Weise dem Typus der gefingerten Blätter.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Die Blattspreite legt sich in Falten, welche von den Buchten zwischen den Lappen gegen den Blattstiel zu verlaufen.

Nach 30 Stunden erscheint das gefaltete Gewebe trocken und fahlgrün.

Die 3 Lappen werden hiedurch nahezu fingerförmig isoliert.

Der Rand und die Spitzen der Blattlappen erhielten keinen Schaden.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Mit der Oberseite reibt die Lamina an der rauhen Borke des Stämmchens.

Nach Ablauf von 6 Tagen zeigt die Epidermis an diesen Stellen eine Braunfärbung.

Die Lupe zeigt, daß die Oberhaut mit Schrammen bedeckt ist. Im Mikroskop lassen manche Flächenschnitte überhaupt keine Cuticula mehr erkennen. —

Faltungen treten nicht in erheblichem Maße auf.

Sonstige Beschädigungen sind nicht zu konstatieren.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Vitis vinifera.

1. Junges noch gefaltetes Blatt.

Die geringe Blattfläche im Verein mit großer Dicke und stets vorhandener Turgeszenz verhütet scharfe unnatürliche Faltung im Winde.

Der gegen Wind geschütztere leeseitige Rand des Blättchens wird durch ein Nachbarblatt geschlagen, und färbt sich nach einigen Stunden diamantglänzend dunkelgrün, nach einigen Tagen braun.

Die Oberhaut und die angrenzenden tiefer liegenden Gewebe wurden durch das Reiben des älteren Blattes großenteils abgeschürft. —

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges völlig entfaltetes Blatt.

Die Lamina wird durch den mechanischen Anprall des Windes stark verbogen. Auf beiden Blatthälften zwischen dem Medianus und den nächsten Hauptnerven entsteht je ein Punkt, in welchem mehrere Falten zusammenlaufen, und diese Punkte verschieben sich bei jedem Windstoße, sodaß ein Zerknittern der Blattspreite eintritt.

Einige Stunden nach Beginn des Versuches sind die beschriebenen Stellen dunkelgrün verfärbt.

Unter der Lupe und im Mikroskop lassen sich keine Verletzungen der Cuticula konstatieren, dagegen erscheinen die inneren Zellen zerdrückt.

Der dem Winde entgegenstehende basale Rand biegt sich um; nach 24 Stunden ist das im Grunde der zirka 0,5—1 cm vom Rande verlaufenden Falte liegende Gewebe zerdrückt und dunkel unterlaufen. Nach einigen Tagen vertrocknet dann das ganze isolierte Randgewebe.

Der dem Medianus zugehörige Blattlappen reibt an der Oberseite des basalen Teiles der Spreite.

Nach 24 Stunden ist die der Reibung ausgesetzte Stelle bräunlich gefärbt, und die Lupe zeigt der Reibung entsprechende Furchen in dem Gewebe der Oberhaut. — Im Mikroskop lassen sich grobe Risse in der Cuticula nachweisen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes, mit spröder Cuticula versehenes Schattenblatt.

Die Lappen neigen sich gegeneinander, sodaß scharfe Falten von der Basis aus zwischen den Hauptnerven bis gegen die Buchten verlaufen.

Nach 15 Stunden erscheint das Blattgewebe in den Falten fahlgrün und durchsichtiger, welche Erscheinungen den Tod durch Vertrocknung bestätigen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Die mechanische Widerstandsfähigkeit schützt vor Deformation.

Nach 8 Tagen keine Veränderung.

Viburnum Opulus.

1. Junges noch gefaltetes Blatt.

Die mechanische Widerstandsfähigkeit verhütet unnatürliche Biegungen.

Krankhafte Veränderungen sind nach 6 tägiger Versuchszeit nicht nachzuweisen.

2. Ausgewachsenes Schattenblatt.

Der mittlere Blattlappen wird stark gegen die Basis hin abgebogen. Nach 24 Stunden sterben die der Faltung am meisten ausgesetzten Blattpartien unter Annahme einer grünlichgrauen Färbung ab, sodaß nur auf einer Seite des Medianus eine schmale Brücke des Blattgewebes erhalten bleibt.

Die Oberseite der Blattspitze schlägt gegen die basale Blattspreite, welch letztere samt der Blattspitze eine blaurötliche Farbe annimmt.

Das Mikroskop läßt an diesen Blattteilen zersprengte Zellen erkennen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Ausgewachsenes Sonnenblatt.

Die Blattspreite erweist sich dauernd gegen Faltung widerstandsfähig.

Nach 2 Tagen erscheint eine rötlichbraun gefärbte bandartig über die Oberseite des Blattes verlaufende Fläche, deren Figur genau der durch ein pendelartig schwingendes anderes Blatt verursachten Reibung entspricht.

Das Mikroskop läßt an dicken Schnitten Verletzungen der Epidermis und einiger darunter befindlichen Zellschichten erkennen. Der Zellinhalt ist hier rötlich gefärbt.

Aesculus hippocastanum.

1. Junges noch gefaltetes Blatt.

Der Wind ist außer Stande die Blattlappen stark zu verbiegen.

Reibung ist nicht vorhanden.

Innerhalb 6 Tagen erleidet die Gesundheit des Blattgewebes keinerlei Schaden.

2. Junges Blatt nach beendigtem Flächenwachstum.

Die Blattspreite der Lappen faltet sich zwischen den Nerven zweiter Ordnung an verschiedenen Stellen in der Weise, daß je 2 solche benachbarte Parallelnerven sich gegenseitig naherücken, sodaß das dazwischenliegende Blattgewebe in der Regel nach oben ausbiegt.

Die so gefalteten Teile der Lamina sterben großenteils an Zerquetschung der Zellen. (Diamantglänzende, dunkelgrüne Verfärbung bei intakter Epidermis.)

Die gewölbeartig nach oben vorspringenden Parenchymmassen sind der Reibung durch bewegte darüber befindliche Blätter in besonderem Maße ausgesetzt. Auch streifen die Lappen des gleichen Blattes gegen und über einander und gefährden sich in hohem Grade. — Infolge dieser Reibung sterben die Epidermiszellen der Oberseite und der unterseits vorspringenden Blattnerven in großer Zahl ab; die sich seitlich berührenden Lappen bringen durch Trauma sich gegenseitig größere Beschädigungen bei.

Die anfangs dunkelgrün, später braungrün verfärbten durch Verletzung zum Absterben gebrachten Zellen nehmen nach einigen Tagen rostbraune Farbe an.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Zwischen den Nerven zweiter Ordnung legt sich das Blattgewebe an verschiedenen Stellen in Längsfalten.

Die schärfsten Falten bringen das betroffene Gewebe nach zwei Tagen zum Absterben, wobei die dunkelgrüne Farbe in hellgrün übergeht.

Während des Absterbens untersuchte Blattstücke zeigen im Mikroskop auf den Flächenschnitten Sprünge in der Cuticula, welche im Verein mit der Pressung des Gewebes den Trockentod bewirkt haben dürften. Diese Zersprengung der Cuticula erzeugte ich auch bei anderen Blättern durch starke Biegung, wobei die Festigkeitsgrenze der Cuticula überschritten wurde.

Die sich berührenden Seitenränder der Blattlappen drücken und schlagen sich stark; hiedurch werden Faltungen der Lamina hervorgerufen, welche wiederum Bruch und Vertrocknung der Gewebe im Gefolge haben. (Farbe der getöteten Zellkomplexe fahlgrün.)

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Reibung und Faltung nicht vorhanden.

Das Blatt bleibt nach 6 tägiger Bewindung gesund.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Sambucus nigra.

1. Junges in die Periode der größten Streckung befindliches Blatt.

Ein benachbartes altes Blatt schlägt intensiv auf das Versuchsobjekt.

Nach 24 Stunden sind die *vorragenden Areolen* des gepeitschten Blattteiles *ihrer Epidermis beraubt*, und die darunterliegenden Zellen vertrocknen großenteils.

Die Fiederblättchen schlagen sich gegenseitig, sodaß die hauptsächlich gefährdeten basalen Ränder traumatische Beschädigungen erleiden.

Die größeren Fiederblättchen legen sich in Falten, erleiden Knickungen und nach 3 Tagen sind 2 Blättchen vollständig zerknüllt und schwarzbraun verfärbt.

2. Altes Schattenblatt.

Nach 5stündiger Einwirkung des Windes ist der durch die Biegungen erschlaffte Blattstiel so widerstandslos, daß er durch die Luftwirbel wie ein Tau um sich selbst gewunden wird; nach Verlauf einer kurzen Zeit zeigt dunkelunterlaufene Verfärbung des Blattstiels dessen innere Zerquetschungen an.

Das ganze Blatt wird schlaff, erleidet eine Unmenge von Knickungen und stirbt binnen wenigen Stunden.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Nach 6 Tagen ist an einem Fiederblättchen eine zirka 0,7 qcm große Partie durch Knickung und teilweisen Bruch der Spreite infolge von Andrücken des Blättchens an den Blattstiel abgestorben.

Im Übrigen ist keinerlei Beschädigung des Blattes nachzuweisen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Fraxinus excelsior.

1. Junges Blatt vor der Periode der größten Streckung.

Faltungen treten nicht auf.

Die Fiederblättchen reiben und schlagen sich gegenseitig mit den Seitenrändern. Diese Partien färben sich nach Verlauf zweier Tage diamantglänzend dunkelbraun.

Einige Fiederblättchen schieben sich so übereinander, daß die einen mit der Unterseite auf der Oberseite der anderen wetzen: Die erhabenen Parenchymteile der Blattoberseite bräunen sich nach 1 bis 3 Tagen, je nachdem sie stärkerer oder schwächerer Reibung ausgesetzt waren.

Die Blattunterseiten sind durch die topographische Lagerung der widerstandsfähigen Blattnervatur im allgemeinen geschützt. An einigen Stellen ist die Epidermis der unterseits vorspringenden Nerven verletzt und bräunt sich.

Diese Verletzungen bleiben, sobald der wetzende Gegenstand entfernt ist, lokalisiert.

Die Blattnerven selbst erleiden keinen nennenswerten Nachteil.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt nach der Periode der größten Streckung.

Die Spreiten der Fiederblättchen, Mittelrippe und Blattstiel erleiden durch den Anprall des Windes und durch gegenseitiges Schlagen nach

kurzer Bewindung so schwere Verletzungen durch Knickung und Zerquetschung der Gewebe, daß nach zirka 4 Stunden das ganze Blatt verloren erscheint.

Die bei Knickungen und Torsionen aufgetretenen Quetschungen dokumentieren sich durch plötzlich erscheinende schwarzunterlaufene Färbung.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Die spröde Epidermis schützt die Fiederblättchen, Mittelrippe und Blattstiel vor äußeren Verletzungen durch Reibung.

Die auftretenden Faltungen der dünnen Fiederblättchen bewirken bei allen mit Ausnahme des geschützten endständigen Blättchens Knickungen der Lamina, sowie Sprünge in der Cuticula und Epidermis, was das sofortige Vertrocknen jener Partien im Gefolge hat. Die getöteten Stellen unterscheiden sich durch graugrüne Farbe von dem gesunden Gewebe, und behalten diese Färbung, solange kein Zutritt von Feuchtigkeit statthat. — Nach Benetzung mit Wasser tritt bräunliche Verfärbung ein.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Nach 7 Tagen ist keine pathologische Veränderung wahrzunehmen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Tilia grandifolia.

1. Junges Blatt vor der Periode der größten Streckung.

Ein erwachsenes Blatt reibt an der Oberseite der Lamina des jungen Blättchens, besonders an den erhabenen Parenchymareolen; letztere zeigen nach kurzer Zeit Braunfärbung infolge Beschädigung der Epidermis.

Nach acht Tagen sind an Stelle der getöteten Blattpartien infolge des Wachstums der Spreite Löcher entstanden.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Jüngeres erwachsenes Blatt.

Sogleich mit der Einwirkung des Windes legt sich das Blatt in unzählige scharfe Falten, welche eine Menge von dunkelunterlaufenen Knicken im Gefolge haben. Nach 4 Stunden ist das Blatt vollständig zu einer formlosen Masse zerknüllt.

Nach weiteren 2 Stunden ist die Spreite bis auf eine zirka 1 qcm große, durch den Mittelnerv vor Deformierung geschützte Partie der Blattbasis vertrocknet.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Kurz nach Einstellung in den Wind bilden sich zwischen dem zweiten

und dritten Nerven zweiter Ordnung (von der Basis gerechnet) starke Längsfalten in der Spreite. Die herzförmigen Lappen an der Basis, der ganze Rand und die Spitze des Blattes schlagen heftig im Winde.

Die schärferen Falten bringen das Gewebe zum Vertrocknen. (Farbe graugrün.) Nach 6 Stunden ist nur der zentral gelegene, ungefähr ein Viertel der ganzen Lamina umfassende Teil des Blattes noch erhalten.

Die widerstandsfähigeren Fiedernerven stehen mit anliegendem gesundem Blattgewebe spitzbogenförmig in die vertrockneten Teile vor.

In dieser Form kann das Blatt in Luftruhe noch wochenlang weiterleben.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Erleidet trotzdem es wetzt und peitscht keinerlei Veränderungen — dank seiner festen Cuticula und des kräftigen Blattbaues.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Ulmus effusa.

1. Junges Blatt, vor der Periode der größten Streckung.

Der dem Mutterzweig zugekehrte leeseitige Rand reibt an ersterem und färbt sich nach einem Tage diamantglänzend grünlich-braun. Die Beschädigung schreitet der intensiven Reibung entsprechend gegen das Blattinnere fort. — Die getöteten Blattteile vertrocknen zu einer rostroten Masse.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt, in voller Streckung begriffen.

Die Spreite wird durch die Gewalt des Windes nach wenigen Minuten durch dunkelunterlaufende Knickungen regellos deformiert. — Nach wenigen Stunden ist das ganze Blatt zerknüllt und vertrocknet.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Die brüchige Lamina wird hauptsächlich an Basis und Seitenrand zerzaust und vertrocknet hier.

Parallel den Fiedernerven entstehen durch Zusammenschieben des Blattes tiefe Falten und Knicke, auch offene Brüche in der dünnen Spreite. —

Nach 7 Stunden hat der Wind das Blatt mit Ausnahme einiger an stärkeren Nerven liegender Gewebeteile getötet. —

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Nach 8 Tagen erscheinen auf der höchsten Spitze einiger Areolen der Blattoberseite durch Reibung getötete und braungefärbte Epidermiszellen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Urtica dioica.

1. Junges Blatt, vor der Periode der größten Streckung.

Das Blatt reibt mit der Unterseite an dem Stengel der Mutterpflanze. — Die Oberseite wird durch ein Nachbarblatt leicht gewetzt.

Nach 10stündiger Windwirkung sind die Haare über den geriebenen Partien der Ober- und Unterseite verschwunden; die Epidermis ist noch gesund. —

Am zweiten Tage zeigt sich die Epidermis auf den emporgewölbten Parenchymareolen der gewetzten Partien der Blattoberseite leicht gebräunt; ebenso die Epidermiszellen der unterseitigen Blattnerven, welche die Reibung mit dem Stengel auszuhalten hatten.

Die Cuticula ist an den beschädigten Stellen zum größten Teil verschwunden. —

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt, nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Sogleich mit dem Beginne der Bewindung wird die Spreite regellos zerknüllt und vertrocknet.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Das Blatt stellt sich in die Windrichtung, die herzförmigen Lappen an der Basis klappen um, sodaß je zwischen dem ersten und zweiten Nerven zweiter Ordnung eine scharfe Längsfalte entsteht.

Nach 4stündiger Windwirkung ist das hier nur von dünnen Nervenanastomosen durchzogene Blattgewebe vertrocknet, zeigt graugrüne Färbung und wird durchscheinend. —

Die lang ausgezogene Spitze des Blattes flattert wellenförmig im Winde; es entsteht normal zur Richtung des Hauptnerven ein Knick über die ganze Lamina, sodaß eine zirka 4 qcm umfassende Partie mit der Spitze isoliert ist, welche erschlafft und regellos zerdrückt wird. —

Der Seitenrand des Blattes biegt sich scharf um, und schlägt hin und her; nach Ablauf von 3 Stunden nach Beginn des Versuches stirbt diese abgebogene Partie — beginnend an der Bruchlinie, welche zirka 5—8 mm von der Peripherie des Blattes entfernt liegt — langsam mit graugrüner Verfärbung ab.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Mit der Oberseite berührt die Spreite den Zweig und wetzt. Nach 4 Tagen sind die Haare von den der Reibung exponierten Areolen des Blattes und von den reibenden Stengelteilen völlig entfernt. — Nach 8tägiger Ver-

suchsdauer sind die Epidermiszellen über den Areolen und auch diejenigen der gewetzten Stengelpartie abgestorben. —

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Fagus silvatica.

1. Junges Blatt, vor der Periode der größten Streckung.

Das Blatt reibt sich nicht; innerhalb 10 Tagen ist keine Erkrankung zu konstatieren.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt, nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Die Lamina stellt sich in die Windrichtung, sodaß die Basis gegen luv weist. Die Fiedernerven nebst dem dazwischenliegenden Gewebe drücken sich gegen den Mittelnerv hin zusammen; die Randpartie zerknickt in regelloser Weise und erscheint an den Knicklinien schwarz-grün diamantglänzend. — Nach 4stündiger Bewindung ist fast die ganze Spreite zerdrückt und zu einer formlosen Masse zusammengeknüllt.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Zwischen einigen Fiedernerven entstehen Parallelfalten, von welchen einige besonders scharfe vom Rand bis zur Mittelrippe absterben. — Die ganze Randpartie mit Ausnahme der in natürlicher Lage verharrenden Spitze wird infolge heftigen Schlagens und Biegens getötet. Die Farbe der abgestorbenen Mesenchymteile ist hellgrün.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Trotz sehr heftigen Peitschens und intensiver Reibung an der Borke des Stämmchens bleibt das stark kutinisierte kräftige Blatt 10 Tage lang in Wind 14 m pro Sekunde unverändert.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Quercus pedunculata.

1. Junges Blatt, vor der Periode der größten Streckung.

Rand und Unterseite wird durch ein altes Blatt gepeitscht; die Oberseite reibt an einem gleichalten Nachbarblättchen.

Nach Verlauf von 2 Tagen ist die Epidermis des Versuchsblättchens an den der Berührung durch die genannten Objekte ausgesetzten Stellen abgestorben: An den vorspringenden Nerven der Unterseite, an dem Rande und an den Parenchymareolen der Oberseite. Färbung der getöteten Partien ist diamantglänzend braungrün.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt, nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Die ganze Blattspreite ist nach 2 Stunden von zahllosen Knicken durchzogen, welche schwärzliche Farbe des betroffenen Zellgewebes veranlassen. — Der Petiolus und die Spreite sind nahe der Basis tauförmig um sich selbst gewunden, wodurch innere Zerquetschungen der Zellen dieser Partien veranlaßt wurden; die Färbung dieser Teile erscheint schwarzgrün.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Zwischen den Nerven zweiter Ordnung laufen Faltungen von den Buchten des Randes gegen die Mittelrippe hin. — Zwei besonders scharfe Falten bewirken das Absterben der betroffenen Zellkomplexe in der ganzen Länge der Falten binnen 35 Stunden. — Die leichteren Falten bleiben ohne schädliche Folgen für die Gesundheit der Lamina.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Reibung, Stoß und Schlag bewirken binnen einer 14tägigen Versuchsdauer keinerlei Beschädigung des sehr fest gebauten Blattes.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Impatiens parviflora.

1. Junges Blatt, vor der Periode der größten Streckung.

Das Blatt erleidet infolge relativer Steifheit weder stärkere Biegung noch Reibung.

Nach 10 Tagen ist noch keine Erkrankung zu konstatieren.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt, nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Die Spreite kann dem mechanischen Anprall des Luftstromes nicht genügend Widerstand leisten; die der Basis angehörigen Randpartien klappen um und die Gewebe zerknicken.

Die Blattspitze flattert einer Fahne vergleichbar in der Windrichtung, wodurch dieselbe eine Unzahl von Knicken erleidet und vertrocknet.

Auf solche Weise wird die Lamina von Basis und Spitze herein durch Knickungen beschädigt; nach 7 Stunden ist das ganze Blatt zerknüllt und vertrocknet als schwarze Masse,

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt

Zwischen den stärkeren Blattnerven bilden sich tiefe Falten, wodurch das spröde Blattgewebe an verschiedenen Stellen gebrochen wird: es entstehen Risse von 3—20 mm Länge. — Der Blattstiel wird durch die Be-

wegungen der Spreite so stark um die eigene Achse gedreht, daß die Gewebe zerquetscht werden, wodurch eine schwarze Verfärbung der betreffenden Stellen verlaßt wird. — Das ganze Blatt vertrocknet infolge dieser Verletzungen innerhalb einiger Stunden. —

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Erleidet binnen einer 14 Tage langen Versuchszeit keine nachweisbare Veränderung.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Populus nigra.

1. Junges Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

Die Oberseite des Blättchens wird durch ein bewegtes Nachbarblatt leicht berührt. — Nach 3 Tagen zeigen die der wetzenden Berührung ausgesetzten vorspringenden Parenchymareolen oberseits leichte Bräunung.

Im Mikroskop zeigt der hier entnommene Flächenschnitt deutliche Schrammen in der Epidermis, teilweise Zerfetzung der Cutikula und der Zellen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt — nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Die der Basis zugekehrte Randpartie klappt gegen die Blattoberseite hin um, wodurch ein $2,_5$ cm langer Knick entsteht; desgleichen wird die Spitze mit etwas mehr als 3 qcm der Lamina umgeknickt: Auf diese Weise sind nach 2 Tagen teils durch direkte Zerquetschung, teils durch Isolierung infolge der Knicke ca. 7 qcm der Spreite abgestorben.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Nach 4 Tagen ist das spröde Blatt an den Seitenrändern zerrissen, zwischen den Nerven zweiter Ordnung bilden sich durch Faltung vertrocknende Partien, welche eine graugrüne Farbe annehmen. Die Gesamtgröße dieser oft mitten in der Spreite auftretenden toten Flächen beträgt ca. $3,_5$ qcm.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Schattenblatt.

Nach 3wöchentlicher Einwirkung eines 10 bis 14 m pro Sekunde zurücklegenden Windstromes sind an dem Blatte keinerlei krankhafte Veränderungen wahrzunehmen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Salix fragilis.

1. Junges Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

Da weder Stoß noch Reibung das Blättchen beschädigen, erleidet es binnen 5 Tagen keinen ersichtlichen Nachteil; durch relativ gedrungenen Bau ist das Blatt vor Biegungen geschützt.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt — nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Nach 4 Stunden erscheint die Spreite mit Knicken und Stoßwunden bedeckt; letztere entstanden durch Anschlagen an den Mutterzweig. Infolge dieser Verletzungen vertrocknen $^2/_3$ der Lamina.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Die leeseitige Blatthälfte wird durch Anschlagen an den Zweig stark verbogen; diese Partie vertrocknet in ihrer ganzen Ausdehnung.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Erleidet in 10 Tagen in Wind 14 m pro Sekunde keine Veränderung.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Rhododendron hirsutum.

1. Junges Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

Durch Reibung und Stoß wird ein Teil der Epidermis und der angrenzenden Gewebeschicht des leeseitigen Randes getötet; Farbe: Diamantglänzend dunkelgrün bis braun.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt — nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Das Blatt drückt mit der Oberseite gegen eine Knospe: Die Epidermis wird an dieser Stelle abgewetzt und einige Partien des Mesenchyms zerquetscht.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Alte Blätter

zeigen zufolge großer mechanischer Festigkeit in 3 Wochen andauernder Bewindung keine Veränderung.

Prunus laurocerasus. (Zweig.)

1. Junges Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

Durch Wetzen eines Nachbarblattes wird der luvseitige Rand infolge Tötung der Epidermiszellen leicht beschädigt.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt — nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Das Blatt knickt quer zum Mittelnerv ungefähr in der halben Länge um. Der Knick unterläuft infolge Zerquetschung von Zellen schwarz. Die isolierte Blatthälfte stirbt binnen einiger Tage durch Vertrocknung.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Alte Blätter

erleiden nur bei sehr intensiver Reibung Abschürfungen der Epidermis und fortschreitend der inneren Gewebe.

Fixierte Blätter: Leiden nicht.

Laurus nobilis. (Zweig.)

1. Junges Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

Nachbarblätter wetzen an der Epidermis der Blattoberseite, welche unter diamantglänzend bräunlich-grüner Verfärbung abstirbt.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Gleichartiges Blatt wie vor.

Dieses Blatt wird nicht gepeitscht und erhält sich binnen 14 Tagen in Wind von 10 bis 12 m gesund.

3. Junges Blatt — nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Die Lamina wird nach einem Tage normal zur Längsachse abgeknickt; die isolierte Partie verliert ihren Turgor und wird regellos zerschlagen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Schattenblatt.

Die Spreite wird mit der einen Randpartie gegen den Mutterzweig gedrückt: Nach einem Tage ist durch die Gewebespannung der Turgor geschwunden und eine scharfe Falte nahe dem Mittelnerv entstanden.

Nach weiteren 24 Stunden ist das in dieser Falte liegende Gewebe zerquetscht und färbt sich braun. Die ganze abgebogene Partie der Lamina stirbt allmählich ab.

Fixiertes Blatt: Gesund.

5. Altes Sonnenblatt.

Wird innerhalb 3 Wochen nicht angegriffen.

Fixiertes Blatt: Gesund.

Ilex aquifolium.

1. Junges Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

Durch Reibung eines alten Blattes wird auf der Oberseite ein zirka $0{,}_8$ qcm großer brauner Fleck erzeugt. Die Epidermis ist teilweise abgeschürft.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

2. Junges Blatt — nach der Periode des Hauptflächenwachstums.

Die Lamina schlägt gegen Blätter und Zweige, so daß nach zwei Tagen der größte Teil durch Knickung und Abschürfung vernichtet ist.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Die Nachbarblätter schlagen gegen das beobachtete Blatt, so daß dieses durch die scharfen Spitzen wie ein Sieb durchlöchert wird. Auf solche Art stirbt ein großer Teil der Spreite ab.

Fixiertes (vor Berührung geschütztes) Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Beschädigung wie vor.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Triticum vulgare.

1. Junges Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

Der Turgor des Blättchens bleibt unverändert erhalten und verhütet stärkere Biegungen im Winde. — Binnen einer achttägigen Versuchsdauer ist keine Beschädigung des Blattes wahrzunehmen.

2. Junges Blatt — nach der Periode der größten Streckung.

Das Blatt wird sofort zerknickt; von den Knickstellen aus wird die Spreite durch die Luftwirbel um sich selbst gedreht, so daß die zwischen den Parallelnerven liegenden Parenchymmassen noch einige cm weit zerdrückt werden. (Schwärzliche Verfärbung.)

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Die große Lamina ist dem Anprall des Windes nicht gewachsen und knickt an zwei Stellen. Durch die Spannungen, welche zwischen den Parallelnerven entstehen, werden an vielen Punkten Parenchymmassen zerquetscht, so daß hier schwärzliche Längsstreifen neben den Blattnerven herlaufen.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Erleidet binnen drei Wochen keinen erheblichen Nachteil; durch Wetzen an einem Halme ist auf der Oberseite des Blattes die Epidermis auf einer $0{,}_3$ qcm großen Fläche entfernt und die angrenzenden Gewebe zum Teile vertrocknet.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

Zea mais.

1. Junges Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

Das Blatt wird binnen acht Tagen nicht beschädigt.

2. Junges Blatt — nach der Periode der größten Streckung.

Die Spreite erleidet gleichartige Verletzungen wie das gleichalterige Blatt von Triticum.

Fixiertes Probeblatt: Gesund.

3. Altes Schattenblatt.

Die ganze Lamina wird nahe der Basis geknickt und so fest um sich selbst gedreht, daß auf eine Länge von über 2 cm alles lebende Gewebe zerquetscht ist. Das Blatt stirbt binnen drei Stunden durch weitere Quetschungen und Mangel an Wassernachschub.

Fixiertes Blatt: Gesund.

4. Altes Sonnenblatt.

Binnen zehn Tagen ohne pathologische Veränderung.

Fixiertes Blatt: Gesund.

Die Blätter von Secale cereale, Hordeum vulgare, Dactylis glomerata, Holcus lanatus, Phleum pratense reagierten in vollständig übereinstimmender Weise wie Zea mais und Triticum vulgare.

Arabis alpina.

In allen Entwickelungsstadien leisten die fleischigen Blätter zufolge relativ großer Dicke und Zähigkeit außerordentlich großen Widerstand gegen die Angriffe des Windes.

Beschädigungen durch Faltung oder Biegung sind bei Windstärken bis zu 14 m pro Sekunde binnen zwei Wochen nicht zu konstatieren. —

Hierauf stellte ich einen rauhen Kalkstein so neben einigen Blättern auf, daß diese im Winde daran stoßen mußten. Nach Verlauf von 24^h waren die Blatthaare an den Berührungsflächen mit dem Steine abgescheuert; nach weiteren 24^h zeigten die Blätter $0{,}_5$ bis 1 mm tiefe durch Abschürfung entstandene Wunden.

Sedum maximum.

Bei den Windstößen schlagen einige alte Blätter gegeneinander; nach Ablauf von fünf Tagen entstehen an den Stoßflächen infolge von Abschürfung und Zerquetschung größere Wunden bis zu 2 mm Tiefe.

Fixierte Blätter: Gesund.

Saxifraga cotyledon.

Infolge von Reibung und Schlagen erscheinen Schürf- und Quetschwunden auf Ober- und Unterseite der größeren Blätter. — Nach fünf Tagen haben zwei Blätter die Hälfte der Spreite verloren.

Fixierte Blätter: Gesund.

Die Blattorgane von Sedum acre, Saxifraga rotundifolia, Saxifraga cordifolia und andere fleischige Blätter, die Kotyledonen von Helianthus annuus, Phaseolus vulgaris, Linum usitatissimum, Fagus silvatica, Cucurbita pepo erleiden im Winde lediglich durch mechanische Verletzungen bedingte Veränderungen, sind dagegen vor Vertrocknung geschützt. —

Eventuelles Wetzen an Blättern, Stengeln oder sonstigen Objekten — verursacht durch stärkeren Wind (10 bis 14 m pro Sekunde) — hatte zur Folge, daß ganze Teile der Blätter allmählich abgerieben wurden; in einigen Fällen brachen die Blattstiele durch heftige Windstöße ab.

Fixage gewährt absoluten Schutz gegen Wind jeder Stärke.

Die steifen Blätter von Saxifraga Hosti, Sempervivum tectorum, Sempervivum Funkii zeigten nach drei Wochen langem Stehen in Wind von 10 bis 14 m pro Sekunde keinerlei pathologische Veränderung — weder junge noch ältere Blattorgane.

II. Nadelförmige Blätter.

Picea excelsa.

Nach dreiwöchentlicher Bewindung sind die Nadeln an denjenigen Zweigen, welche nicht gegen andere Zweige schlugen, vollständig gesund.

Fixierte Zweige zeigen nur gesunde Nadeln.

Die alten und jungen Nadeln an denjenigen Zweigen, welche gegenseitig peitschten, weisen mannigfache Verletzungen auf.

Die alten Nadeln sind großenteils geknickt oder abgebrochen.

Die jungen Nadeln sind geknickt, zerquetscht oder abgerieben.

Alte und junge Nadeln weisen Abschürfungen der Epidermis auf. Erstere mehr an der Nadelspitze, letztere hauptsächlich an den Längsseiten.

In gleicher Art wie Picea reagierten Abies pectinata, A. Nordmanniana, Pseudotsuga Douglasii, Taxus baccata, Pinus silvestris, P. montana, P. Laricio, P. Strobus.

Fixierte Zweige dieser Holzarten erlitten keine Beschädigung der Blattorgane.

Larix europaea.

Wind 14 m pro Sekunde. Die Nadeln können während des Hauptlängenwachstums der Gewalt des Windes nicht widerstehen. Sie erleiden Knickungen, Quetschungen und Abschürfungen durch Anschlagen an den Mutterzweig oder an andere Nadeln.

Sehr schlanke langgestreckte ältere Nadeln wurden in einigen Fällen durch den Luftstrom nahe der Basis abgebrochen.

Alte feste Nadeln sind — sofern sie nicht durch Zweige gepeitscht werden — absolut widerstandsfähig gegen Wind bis zu 14 m und zeigten binnen drei Wochen nicht die geringste Veränderung.

Nadeln an gepeitschten Zweigen werden nach wenigen Stunden durch Quetschung, Knickung, Bruch und Abschürfung massenhaft vernichtet.

III. Blütenblätter.

Impatiens parviflora.

Die Blüte entwickelt sich normal im Winde und erleidet während eines 8 Tage dauernden Versuches keinerlei krankhafte Veränderung.

Spartium scoparium.

Die Blütenblätter entwickelten sich im Winde ebenso wie diejenigen einer Probepflanze in Luftruhe; jedoch blieben dieselben im Winde hinter der Größe der nicht bewindeten etwa um ein Drittel zurück.

Linum usitatissimum.

Einige Blüten werden durch Nachbarpflanzen gepeitscht und durch Knickung der Blätter, Abschürfungen und Quetschung der Gewebe beschädigt. — Die nicht gepeitschten Blütenblätter entwickeln sich normal.

Cytisus laburnum.

Die zarten Kronenblätter wetzen sich gegenseitig, sodaß größere Wunden entstehen und die Blättchen nach einigen Stunden formlos herabhängen.

Außerdem peitscht die Blütentraube so stark, daß Quetschungen und Knickungen eintreten; nach 2 Tagen ist die ganze Infloreszenz abgestorben.

Fixierte Blütentraube: Bleibt während einer 8tägigen Bewindung unbeschädigt.

Viola tricolor.

Die Kronenblätter knicken um. — An den Berührungspunkten mit den übrigen Blütenblättern entstehen Wunden durch Abschürfung und Quetschung.

Fixierte Blüte: Die Blätter erleiden binnen 6 Tagen keine pathologische Veränderung.

Rosa centifolia.

Die zarten Kronenblätter und die kronblattartigen Staubblätter erleiden nach kurzer Zeit unzählige Knickungen; durch Reibung an benachbarten Blättern entstehen relativ schwere Verletzungen in dem parenchymatischen Gewebe.

Nach Verlauf von 10 Stunden sind die Kronen- und Füllblätter bis auf kleinere Überreste durch Wunden und sekundär durch Wasserverlust getötet.

Fixierte Blütenblätter von Rosa centifolia erlitten keine Veränderung im Winde binnen 3 Tagen.

Bei den aufgeführten Versuchen, welche die Blattorgane betrafen, kam eine Windstärke von mindestens 10 m pro Sekunde in Anwendung. —

Geringe Windstärken riefen nur dann eine krankhafte Veränderung der Blattorgane gut bewässerter Pflanzen hervor, wenn diese mechanisch nicht genügend widerstandsfähig waren, und stärkere Biegungen erlitten, wobei sie entweder durch Verletzungen oder partiellen Wasserentzug beschädigt wurden.

Bei Windgeschwindigkeiten zwischen 3 und 5 m pro Sekunde konstatierte ich an den Spreiten besonders großer und dünner Blätter von Tilia grandifolia, T. parvifolia, Ulmus effusa, Sambucus nigra intensivere Faltungen, welche teilweise den Trockentod der betroffenen Gewebe im Gefolge hatten; auch Quetschungen und Abschürfung der Oberhaut waren in einigen Fällen durch die Bewegung der Blattteile und dadurch bedingte Spannung und Reibung in die Erscheinung getreten. —

Es erlitten Blätter von Impatiens parviflora und Urtica dioica, welche bei einer Windstärke von 7 m pro Sekunde binnen 2 Stunden vernichtet wurden (Zerquetschung), innerhalb 3 Wochen in einer Windstärke von 4 m pro Sekunde nicht die geringste pathologische Veränderung. — Blätter von Vitis vinifera hielten eine 2 Wochen dauernde Bewindung von der Geschwindigkeit 3 m pro Sekunde ohne Spur einer Beschädigung aus, gingen dagegen binnen 4 bis 5 Stunden infolge von Biegung der Lamina sowie Verletzungen der Oberhaut und innerer Gewebe bei einer Windstärke von 10 m zugrunde.

IV. Zusammenhang zwischen Witterung und Reaktion der Blattorgane auf Wind.

Bei den vorstehenden Beobachtungen über die Art des Absterbens von Pflanzenblättern in Wind wurden die modifizierenden Einflüsse der Witterung außer Betracht gelassen. Die Art dieser Einflüsse soll durch die in nachfolgender Tabelle zusammengestellten Versuche aus dem Jahre 1905 erläutert werden.

Von jeder in der Tabelle aufgeführten Pflanzenart gelangte — wie oben — eine ganze Pflanze respektive ein großer in Wasser stehender Zweig zur Verwendung und wurde stets täglich Vormittags 7 Uhr durch einen frischen Zweig respektive eine andere Pflanze ersetzt.

Es wurde das Verhalten der Blätter folgender drei Typen beobachtet:

a) Ein jugendliches Blatt — vor der Periode der größten Streckung.

b) Ein junges Blatt, welches das größte Flächenwachstum soeben beendet hat.

c) Ein dünnes altes Schattenblatt.

Alte Sonnenblätter wurden wegen ihrer Windbeständigkeit nicht eingestellt.

Das jeweils angeführte Datum bezeichnet den Tag, an welchem die Versuchsobjekte vormittags 7 h in Wind gebracht wurden.

Die Windgeschwindigkeit betrug pro Sekunde **10** m.

Zusammenhang zwischen Witterung und Reaktion der Blattorgane auf Wind.

Datum	Bezeichnung des Blattes	Barometerstand	Temperatur Cels. Max.	Luftfeuchtigkeit	Dauer der Windwirkung bis zum Auftreten von: Trockentod durch Faltung der Lamina	mechanische Verletzungen durch: Abschürfung	Knickung	Sonstiges*
1905		mm	°	%	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden
Juli								
	1. Acer pseudoplatanus.							
2	a	759,9	28,9	77	—	6	—	—
	b				—	5	4	—
	c				12	—	8	24
3	a	764,1	28,3	64	—	4	—	—
	b				24	7	7	—
	c				4	—	2	—
4	a	763,4	28	87	—	3	—	—
	b				—	—	10	—
	c				24	—	8	—
5	a	757	28,3	92	—	4	—	—
	b				—	9	3	—
	c				—	—	12	10
6	a	757	28,4	94	—	12	—	—
	b				—	24	5	10
	c				—	—	—	—
21	a	760	21,5	97	—	11	—	—
	b				—	—	6	—
	c				—	—	10	24
22	a	760	22,6	81	—	7	—	—
	b				—	—	5	—
	c				10	—	8	—
23	a	755,1	28,4	67	—	9	—	—
	b				12	7	1	—
	c				8	—	4	—
24	a	753,9	26,3	89	—	—	—	—
	b				—	8	10	—
	c				—	—	2	—
25	a	759,8	17,3	73	—	5	—	—
	b				—	11	1	10
	c				—	—	0,5	—

* Diese Rubrik umfaßt die durch Bruch, Zerreißung u. Trauma verursachten Beschädigungen.

Datum	Bezeichnung des Blattes	Barometerstand	Temperatur Cels. Max.	Luftfeuchtigkeit	Dauer der Windwirkung bis zum Auftreten von: Trockentod durch Faltung der Lamina	mechanische Verletzungen durch: Abschürfung	Knickung	Sonstiges *
1905		mm	°	%	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden
Juli.	**1. Acer pseudoplatanus.**							
26	a	760	24,8	78	—	24	—	8
	b				—	—	5	12
	c				24	—	—	—
27	a	757,8	28,6	85	—	4	—	—
	b				—	9	6	—
	c				—	—	1	—
Juli.	**2. Betula verrucosa.**							
21	a	760	21,5	97	—	8	—	—
	b				—	24	3	—
	c				—	—	24	—
22	a	760	22,6	81	—	3	—	—
	b				—	11	7	—
	c				—	—	6	—
23	a	755,1	28,4	67	—	—	—	—
	b				12	2	1	—
	c				7	—	1	—
24	a	753,9	26,3	89	—	1	—	—
	b				—	24	11	10
	c				—	—	5	—
25	a	759,8	17,3	73	—	5	—	—
	b				—	—	7	—
	c				9	—	—	—
Juli..	**3. Vitis vinifera.**							
1	a	756,8	31,8	73	—	0,5	—	—
	b				24	6	10	24
	c				11	—	1	—
2	a	759,9	28,9	77	—	2	—	8
	b				—	1	2	—
	c				8	—	—	2

Datum	Bezeichnung des Blattes	Barometerstand	Temperatur Cels. Max.	Luftfeuchtigkeit	Dauer der Windwirkung bis zum Auftreten von			
					Trockentod durch Faltung der Lamina	mechanische Verletzungen durch		
						Abschürfung	Knickung	Sonstiges *
1905		mm	°	%	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden
Juli								
	3. Vitis vinifera.							
3	a	764,1	28,3	64	—	9	—	—
	b				7	24	1	5
	c				5	—	—	—
4	a	763,4	28	87	—	—	—	—
	b				—	12	4	4
	c				—	—	12	12
5	a	757	28,3	92	—	1	—	—
	b				—	8	9	—
	c				—	—	—	3
6	a	757	28,4	94	—	4	—	6
	b				—	0,5	5	—
	c				—	—	11	1
23	a	755,1	28,4	67	—	2	—	10
	b				12	7	4	—
	c				9	—	—	—
August								
	4. Tilia grandifolia.							
13	a	66	20,8	85	—	5	—	—
	b				—	3	7	—
	c				—	24	10	12
14	a	63,9	23,8	77	—	9	—	—
	b				—	12	1	5
	c				24	—	4	—
15	a	60,7	27,1	66	—	7	—	—
	b				—	9	2	12
	c				7	24	11	—
16	a	57,4	29,3	97	—	4	—	24
	b				—	6	4	12
	c				—	—	2	—

Datum	Bezeichnung des Blattes	Barometerstand	Temperatur Cels. Max.	Luftfeuchtigkeit	Dauer der Windwirkung bis zum Auftreten von: Trockentod durch Faltung der Lamina	mechanische Verletzungen durch: Abschürfung	Knickung	Sonstiges*
1905		mm	°	%	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden
August								
	4. Tilia grandifolia.							
17	a	59,8	22,3	86	—	8	—	—
	b				—	4	4	—
	c				—	—	7	--
18	a	59,9	21,4	79	—	10	—	—
	b				—	3	1	5
	c				24	—	6	—
19	a	56,2	24,5	83	—	6	—	—
	b					4	3	—
	c				24	—	5	—
20	a	59,1	20,8	65	-	9	—	—
	b				—	5	0,5	6
	c				8	—	3	10
21	a	61,7	19,8	82		2	—	—
	b				—	7	5	12
	c				24	—	4	—
22	a	58,3	21,6	72	—	6	—	—
	b				—	8	2	—
	c				11	—	1	—
	5. Impatiens parviflora.							
13.	a	66	20,8	85	—	2	—	—
	b				—	—	0,5	—
	c				24	—	2	—
14.	a	63,9	23,8	77	—	6	—	8
	b				-	7	1	—
	c				12	—	3	—
15.	a	60,7	27,1	66	—	10	—	—
	b				12	4	0,2	—
	c				7	—	0,3	—

Datum	Bezeichnung des Blattes	Barometerstand	Temperatur Cels. Max.	Luftfeuchtigkeit	Dauer der Windwirkung bis zum Auftreten von			
					Trockentod durch Faltung der Lamina	mechanische Verletzungen durch		
						Abschürfung	Knickung	Sonstiges*
1905		mm	°	%	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden

August

5. Impatiens Parviflora.

16.	a	57,4	29,3	97	—	8	—	—
	b				—	8	3	24
	c				—	—	11	—
17.	a	59,8	22,3	86	—	11	—	—
	b				—	3	4	—
	c				—	—	5	4
18.	a	59,9	21,4	79	—	6	—	—
	b				—	24	2	—
	c				24	—	5	—
19.	a	56,2	24,5	83	—	9	—	—
	b				—	5	12	—
	c				12	—	8	10
20.	a	59,1	20,8	65	—	1	—	—
	b				—	12	0,5	—
	c				9	24	1	—
21.	a	61,7	19,8	82	—	4	—	—
	b				—	6	3	—
	c				24	—	1	—
22.	a	58,3	21,6	72	—	8	—	—
	b				—	7	5	—
	c				12	10	—	—
Juni 1906 19.	a	63	24,1	100	—	7	—	—
	b				—	11	8	—
	c				—	—	10	—

Resultate.

1.

Durch **Fixieren** gegen Biegung, Zerreißung, Reibung und Stoß — mechanische Windwirkung — geschützte Sproßteile der höheren Pflanzen erleiden im Winde *keine krankhaften* Veränderungen.

2.

Auf **junge Blätter** wirkt der Wind hauptsächlich durch mechanische Verletzung der zarten Gewebe ein:

a) Die noch wenig entfalteten Blättchen leiden fast ausschließlich durch Abschürfung infolge von Reibung und durch Trauma.

b) Junge Blätter, welche das Flächenwachstum nahezu beendet haben, werden durch die gleichen Ursachen beschädigt und laufen noch dazu große Gefahr, durch die geringe Widerstandsfähigkeit gegen Faltung und Biegung Zerreißungen, Quetschungen, Knickungen zu erleiden, eventuell auch zu vertrocknen.

3.

Alte Blätter werden im Winde je nach der Biegungsfestigkeit der Lamina und Zähigkeit der Oberhaut beschädigt:

a) Infolgedessen sind die dünnen Schattenblätter sehr gefährdet, indem die nur von feinen Nervenanastomosen durchzogenen Partien der Spreite zwischen den Nerven erster und zweiter Ordnung und die Umgebung des Randes direkt durch Quetschungen und Brüche und indirekt durch Vertrocknung infolge von fortwährenden Biegungen im Verein mit Verletzungen der Epidermis und stetiger Abfuhr der gesättigteren Luftteilchen beschädigt werden.

b) Die konsistenten Sonnenblätter leiden in der Regel nur durch unerhebliche Abschürfung der Epidermis — selbst bei langer und intensiver Bewindung.

4.

Eine Beschädigung von Blättern war in allen Fällen erst bei solchen Windstärken zu beobachten, welche eine mechanische Bewegung — sei es der Blätter selbst oder peitschender Gegenstände — hervorbrachten.

5.

Die Erscheinungen des Trockentodes werden durch die herrschende Witterung modifiziert, respektive bei geringem Sättigungsdefizit der Luft oder bei Regen aufgehoben.

b) Stammorgane.

I. Verholzte Sprosse.

Versuch Nr. 1.

Fagus silvatica (Topfpflanze).

Die schwanken Zweige peitschen sich bei einer Windstärke von 14 m und es erscheinen nach zirka 10 Tagen braune Flecke unter der Rinde. —

Die Untersuchung ergab, daß das Cambium und das Rindenparenchym an diesen gebräunten Stellen durch Trauma getötet ist. Die Zellwände waren großenteils zersprengt.

Versuch Nr. 2.

Picea excelsa (Topfpflanze).

Einige lange Zweige biegen sich stark ab; nach einigen Stunden klafft die Rinde an der konvexen Seite der verbogenen Partie an mehreren Punkten auseinander, sodaß offene Wunden bis zu dem Holzkörper entstehen. —

Versuch Nr. 3.

Pinus silvestris.

Die konvexe Seite stark gebogener Zweige zeigt nach kurzer Zeit bis auf den Hölzkörper dringende Wunden, welche durch allzugroße Zugspannung der Rinde entstanden: Diese Wunden klaffen solange der Zweig gebogen ist, sind aber in Ruhelage des Zweiges geschlossen und unsichtbar.

Versuch Nr. 4.

Pinus austriaca.

Bei starken Biegungen — verursacht durch heftigere Windstöße — zeigen sich durch Zerreißung der Rinde entstandene klaffende Wunden wie bei Pinus silvestris.

Versuch Nr. 5.

Ulmus effusa (Topfpflanze).

Die sehr dünnen, sich peitschenden Zweige erleiden Verletzungen der Rinde durch Zerreißung und Trauma.

Einige schwache Zweige brechen im Holzkörper; die lebenden Gewebe des Cambiums und der Rinde bleiben jedoch erhalten, und nach einigen Wochen Ruhe ist diese innere Verletzung des Holzkörpers durch Kallusbildung unschädlich gemacht.

Versuch Nr. 6.

Alnus incana (Topfpflanze).

Die Rinde ist nach einigen Tagen durch Peitschen an vielen Punkten verletzt. —

Im Holzkörper sind einige Brüche wahrzunehmen, welche sich bei einer Biegung durch Knacken bemerkbar machen; äußerlich ist an diesen Stellen keine Wunde erkennbar.

In Ruhe verheilen diese Beschädigungen unter Bildung knollenförmiger Kallusmassen.

Versuch Nr. 7.

Quercus pedunculata.

Die außergewöhnlich schwachen und langen Zweige biegen sich stark und peitschen bei jedem Windstoße.

Nach 6 Tagen ist die Rinde verschiedentlich durch Trauma getötet und gebräunt.

An einer besonders stark verbogenen Partie ist auf der konvexen Seite des Zweiges die Rinde geplatzt.

Diese Wunden verheilten im Laufe des Sommers unter knolliger Verdickung der beschädigten Zweigstelle.

Versuch Nr. 8.

Es wurden dünne, verholzte Zweige von Ulmus effusa, Alnus glutinosa, Fagus silvatica, Picea excelsa, Larix europaea einem Windstrom 10 m pro Sekunde exponiert:

Nach 3—6 Tagen sind alle Zweige im oberen Teile mehr oder weniger weit abgetötet — offenbar durch Vertrocknung infolge von Verletzung der Rinde und Transpirationssteigerung bei durch Biegungen verursachter Herabsetzung der Wasserleitungsfähigkeit der Gewebe.

Die gleichartigen fixierten Probezweige blieben in gleicher Windstärke bis zum Abschluß des Versuches frisch.

II. Im Wachstum begriffene, respektive krautige Stammteile.

Versuch Nr. 9.

Ulmus campestris.

Bewurzelte Pflanze — im ersten Lebensjahre stehend.

Länge des oberirdischen Sprosses 26 cm.

Der noch nicht verholzte Stamm wird durch die Windstöße scharfen Biegungen ausgesetzt; infolge der hiedurch erzeugten hohen Druck- und Zugspannungen in den turgeszenten Geweben erschlaffen diese, und nach zwei Stunden läßt das Stämmchen den Gipfel in einer Länge von mehr als 10 cm herabhängen.

In diesem Stadium wurde der Versuch abgebrochen und das Stämmchen mit einer Stütze versehen; eine Stunde später war die Turgeszenz wiederhergestellt. —

Nunmehr wurde die Pflanze samt der Stütze der gleichen Windstärke (10 m) wie zuvor ausgesetzt: Das Stämmchen behielt während drei Tagen volle Gesundheit und Turgeszenz. —

Hienach wurde der stützende Pfahl wieder entfernt und das Stämmchen dem Winde exponiert: Die turgeszenten Stengelteile wurden in weniger als 4 Stunden schlaff und zeigten Vertrocknungserscheinungen, soweit sie besonders starken Biegungen ausgesetzt waren. —

Das Stämmchen peitschte sich nun selbst mit der oberen Partie, sodaß nach einem Tage der ganze Sproß durch Knickungen und Quetschungen der inneren Gewebe sowie durch äußere Verletzungen, Abschürfung und Zerreißung der oberen Zellschichten getötet ist.

Die Quetschungen machen sich durch momentan auftretende schwarzgrüne Verfärbung kenntlich, welch letztere allmählich in braun übergeht. (Die Blätter sind analog der Beschreibung für Ulmus effusa beschädigt.)

Versuch Nr. 10.

Fagus silvatica.

Topfpflanze mit jungen Trieben.

Die Turgeszenz der luvseits befindlichen Zweige schwindet nach wenigen Stunden und die Zweige beginnen stark sich selbst und ihre Umgebung zu peitschen:

Nach 24 Stunden ist die grüne Rinde mit Wunden bedeckt, welche durch Reibung mit den Blättern und durch Schlag und Stoß entstanden sind. — Die jungen Zweige der Windseite sind nach zirka 40 Stunden bis auf geringe Reste abgestorben. —

2 fixierte und vor Stoß geschützte Probezweige bleiben vollständig gesund und turgeszent.

Versuch Nr. 11.

Quercus pedunculata.

Topfpflanze mit jungen, hoch aufgeschossenen Zweigen.

Durch die Bewindung verlieren die jungen Organe der Luvseite ihre Festigkeit; der Turgor schwindet und die Zweige zerschlagen ihre zarte Epidermis an den Nachbarsprossen. Auch die Blätter schürfen die grüne Rinde von den Zweigen: Infolge solcher Beschädigungen sterben die jungen Stammteile der Windseite bis auf geringere Reste binnen 4 Tagen ab. —

Ein fixierter Probezweig bleibt gesund.

Versuch Nr. 12.

Acer pseudoplatanus.

Topfpflanze mit jungen Trieben.

Die luvseits stehenden jungen Zweige verlieren nach einem Tage ihre Turgeszenz und zerschlagen sich gegenseitig und an dem Boden, bis die grüne Rinde mit Wunden bedeckt ist: Binnen 4 Tagen sind die unverholzten Zweige der Luvseite bis auf die geschützteren Teile abgetötet.

Ein fixierter und vor Stoß geschützter Probezweig bleibt gesund.

Versuch Nr. 13.

Syringa vulgaris.

Junger Zweig.

Der Turgor schwindet infolge der heftigen Biegungen, sodaß der Zweig

nach wenigen Stunden schlaff herabhängt und sich selbst peitscht: Nach einem Tage ist der Zweig bis auf die älteren, teilweise verholzten Partien abgestorben.

Ein fixierter Probezweig in gleicher Windstärke bleibt während 4 Tagen turgeszent.

Versuch Nr. 14.

Carpinus betulus.

Junger Zweig.

Die Turgeszenz schwindet und nach 2 Tagen ist der Zweig durch Quetschungen und Abschürfungen teilweise zum Absterben gebracht. — Nach weiteren 2 Tagen ist der Tod des ganzen Zweiges eingetreten.

Ein fixierter Probezweig erleidet unter sonst gleichen Bedingungen keine Veränderung.

Versuch Nr. 15.

Taxus baccata.

Junger, nicht verholzter Zweig.

Die anfängliche Widerstandsfähigkeit gegen Biegungen läßt binnen weniger Stunden nach und der Zweig wird nunmehr durch den Wind stark umhergeworfen: Er peitscht sich selbst und erleidet durch die heftigen Biegungen innere Verletzungen, welche sich durch plötzliches Dunkelfärben verraten.

Nach 4 Tagen ist der Zweig abgetötet.

Der fixierte Probezweig bleibt unter gleichen Verhältnissen gesund. —

Versuch Nr. 16.

Larix europaea.

Topfpflanze mit unverholzten Trieben.

Ein auf der Luvseite befindlicher Zweig wird fixiert und vor Schlag geschützt.

Die auf der Luvseite befindlichen nicht fixierten Jungtriebe verlieren ihren Turgor, sodaß sie durch die Windstöße stark umhergeschleudert werden: Die Epidermis wird durch Stoß, Reibung und Quetschung sehr beschädigt; auch die inneren Gewebe zeigen sich nach 2 Tagen an vielen Stellen zerquetscht.

Nach 3 bis 4 Tagen waren die Zweige der Windseite großenteils getötet, während die geschützt gelegenen Zweige der Leeseite völlig turgeszent und unbeschädigt blieben.

Der fixierte Zweig der Luvseite ist frisch wie zuvor.

Versuch Nr. 17.

Pinus silvestris.

Topfpflanze mit unverholzten Zweigen.

Ein luvseitiger Zweig wird fixiert. Nach 1tägiger Versuchsdauer läßt der Turgor der windseitigen Zweige etwas nach, sodaß sich die Zweige biegen und peitschen.

Nach 8 Tagen sind die Spitzen von 4 Zweigen in einer Länge von je 5 bis 10 cm abgestorben.

Quetschungen, Brüche und Abschürfungen sind an allen getöteten Zweigen nachzuweisen.

Der fixierte luvseitige und die Zweige auf der Leeseite sind gesund.

Versuch Nr. 18.

Picea excelsa.

Topfpflanze mit unverholzten Zweigen.

Zwei luvseitige Zweige werden fixiert.

Nach 1tägiger Bewindung hängen die freien Zweige der Luvseite schlaff in der Windrichtung und peitschen sich: Hiedurch entstehen Wunden an der Oberhaut und in dem dünnwandigen inneren Gewebe.

Nach 4 Tagen sind die Zweige der Windseite von der Spitze herein mehr oder weniger weit abgestorben infolge von Abschürfung und Quetschung der jungen Gewebeteile; drei Zweige sind an der Basis des diesjährigen Triebes abgebrochen. — Besonders die Epidermis und die Nadeln haben durch Abschürfung und Quetschung stark gelitten.

Die fixierten Zweige der Luvseite sind gesund.

Resultate.

1.

Biegungsfeste oder künstlich fixierte Stammteile erweisen sich als absolut widerstandsfähig gegen Wind.

2.

Verholzte und krautige Stammteile können bei solchen Windstärken getötet werden, welche Biegungen der betreffenden Objekte hervorrufen.

Die Todesarten sind dieselben wie sie bei Blattorganen beobachtet werden: Tod durch Verletzungen und Tod durch Vertrocknen — beide oftmals kombiniert und in einander übergehend.

3.

Verholzte Stammorgane haben im allgemeinen mehr durch Vertrocknen, dagegen krautige Stammteile relativ mehr durch Verletzungen zu leiden.

B. Pathogene Eigenschaften des Windes für oberirdische Pflanzenteile.

Die im Winde beobachteten pathologischen Veränderungen der Pflanzensprosse ließen als Krankheitsursachen mechanische Beschädigung und Trocknis zweifellos erkennen.

Die nachfolgenden Versuche bezwecken die Erforschung dieser im Winde wirksamen Krankheitsursachen. Insbesondere soll eine schärfere Trennung der spezifischen pathogenen Einwirkungen des Windes ermöglicht werden.

I.

Scheidung zwischen Tod durch Vertrocknung und Tod durch mechanische Verletzung.

Versuch Nr. 1.

Die zu untersuchenden Objekte werden wie gewöhnlich einer Windstärke von 10 bis 14 m pro Sekunde ausgesetzt, während jedoch zu gleicher Zeit eine Wasserbrause die ganzen Sprosse naß erhält, sodaß eine Vertrocknung vollständig ausgeschlossen bleibt.

a) Junge in Entfaltung begriffene Blätter vor der Periode der größten Streckung.

Diese gegen Biegungen relativ widerstandsfähigen Gebilde erlitten durch Wind in allen früher untersuchten Fällen lediglich Beschädigungen infolge von Stoß und Reibung.

Um die Gewißheit zu erlangen, daß Transpiration bei diesen Krankheitserscheinungen nicht ursächlich beteiligt ist, wurden junge Blättchen von Vitis vinifera, Quercus sessiliflora, Q. pedunculata, Acer platanoides, A. pseudoplatanus, Impatiens parviflora, Tilia grandifolia, T. parvifolia, Ulmus effusa, Aesculus hippocastanum, Fraxinus excelsior in Wind (10 m) gebracht, während durch eine Wasserbrause die Oberfläche der Blätter und Zweige feucht erhalten wurde:

Nach Verlauf von 1 bis 3 Tagen zeigten die Blättchen an allen Stellen, welche einer Reibung oder andauernden Stößen durch Nachbarblätter ausgesetzt waren, Wunden in derselben charakteristischen Weise durch Abschürfung und Quetschung wie sie oben beschrieben worden ist

b) Junge Blätter nach der Periode des größten Flächenwachstums.

Die meisten Krankheitserscheinungen dieser Blätter deuteten auf mechanische Verwundung durch Wind als causa efficiens.

Zum Zwecke der Bestätigung der gemachten Beobachtungen setzte ich eine Anzahl von gleichartigen Blättern, wie vor beschrieben dem Winde aus.

Nach Ablauf von wenigen Tagen waren diejenigen Partien der Blätter, welche sehr starken Faltungen ausgesetzt waren, so insbesondere die Blattränder und die dünnen Blattflächen zwischen den stärkeren Nerven erster und zweiter Ordnung durch Quetschung und Zerreißung schwer beschädigt. —

Die Oberseite und die Unterseite der Blätter verlor an den einer größeren Reibung exponierten Stellen die Epidermis durch Abschürfung.

c) Alte Schattenblätter.

Bei den früheren Beobachtungen konnten die Tötungserscheinungen bei diesen dünnen, aber meist harten Blättern nur zum geringeren Teile durch Wunden erklärt werden; die großen gefalteten Gewebeteile starben meist ohne viele sichtbare Verletzungen ab.

Die dreitägige Bewindung der dem Wasserstrahle exponierten Blätter einer Anzahl der vorgenannten Arten ergab das Resultat, daß alle Blätter durch Knickungen von Lamina oder Blattstiel und durch Zerquetschung infolge von scharfer Faltung beschädigt waren.

Der Umfang dieser Schäden erreichte zirka ein Drittel der vorbeschriebenen in maximo; insbesondere blieb der die größeren Nerven verbindende dünnere Gewebeteil in den meisten Fällen erhalten.

d) Alte Sonnenblätter.

Unter der Brause entstehen durch Reibung im Winde ähnliche Verletzungen wie vorbeschrieben: Die Epidermis wird über den Areolen der Oberseite und auf der Unterseite der dickeren Blattnerven bei Reibung an Blatt- und Stammorganen oder sonstigen Gegenständen abgeschürft.

II.

Erschlaffung respektive Anwelken krautiger und nicht verholzter Pflanzenteile im Winde und dessen Folgen.

Versuch Nr. 2.

Es wurden in Tongefäßen kultiverte Pflanzen von Ulmus campestris, Fagus silvatica, Quercus pedunculata, Acer pseudoplatanus, Carpinus betulus, Cornus sanguinea, Larix europaea, Pinus silvestris, Picea excelsa dem Winde ausgesetzt, wobei der ganze Stamm vollständig mit Wasser überbraust wurde: Die Organe erschlafften nicht so stark wie in normalen Verhältnissen; infolgedessen erreichte auch das Peitschen keinen gefährlichen Grad, sodaß Verletzungen seltener auftraten. Wenige Zweigspitzen der Luvseite, welche gegeneinander schlagen, werden binnen 4 Tagen durch Trauma getötet.

Die Vertrocknungserscheinungen, welche bei starker Faltung der Blattspreiten und Biegung von Zweigen im Winde beobachtet wurden, lassen sich nicht allein durch bloße Heranführung von Luftteilchen geringerer Sättigung an das transpirierende Objekt erklären, zumal da ohne Biegung keine Vertrocknung aufgetreten ist.

Die Regelmäßigkeit, mit welcher starken Biegungen ausgesetzte Zellgewebe rasch erschlaffen und vertrocknen, deutet auf mechanische Verdrängung des in diesen Geweben enthaltenen Wassers.

Versuch Nr. 3

Impatiens parviflora.

Topfpflanze mit 46 cm langem krautigem Stiel.

Der obere die Blätter tragende Teil des Sprosses wurde mittelst umsponnenen Kupferdrahtes an einem Baumpfahle so befestigt, daß Erschütterungen ausgeschlossen waren:

Das Tongefäß, in welchem die Pflanze wurzelt, wurde nun mit der Hand leicht hin- und hergeführt, sodaß der untere Teil des Stengels der Versuchspflanze stetigen Biegungen ausgesetzt ist.

Nach Ablauf von 4 Stunden ist die ganze Pflanze samt dem fixierten oberen Teile und den Blättern gewelkt.

Der Versuch wurde jetzt abgebrochen, und nach einem halben Tage ist die Turgeszenz des ganzen Sprosses wieder hergestellt.

Versuch Nr. 4.

Salix fragilis — bewurzelter Steckling in Nährlösung kultiviert.

Die obere Hälfte des Stämmchens wurde mittelst umsponnenen Drahtes sorgfältig fixiert; die Wurzel verblieb in der Flüssigkeit. Sodann wurde der untere freie Teil des Stämmchens ununterbrochenen Biegungen ausgesetzt. Nach $2^1/_2$ Stunden ist die ganze Pflanze samt den Blättern welk.

Der Turgor stellt sich nach einigen Stunden Ruhe wieder ein.

Versuch Nr. 5.

Saftige Blätter von Quercus pedunculata, Arum maculatum, Iris germanica, Alnus glutinosa wurden auf Ober- und Unterseite mit Stahlschem Kobaltpapier belegt, zwischen Glimmerplatten geklemmt und einer Biegung unterworfen.

Zuerst rötet die konkave Seite der Blattfalte das anliegende Papier, später die konvexe Seite und erst nach Ablauf längerer Zeit färben die keiner Biegung ausgesetzten Blatteile das Kobaltpapier rötlich.

Versuch Nr. 6.

Zweige von Hedera helix, Cornus mas, Fagus silvatica werden einer stärkeren Biegung in einem dunstgesättigten Raume unterworfen.

An der konkaven Seite der abgebogenen Partie zeigen sich feine Tröpfchen herausgepreßten Wassers.

Versuch Nr. 7.

Dieselben Zweige werden mit blauem Kobaltpapier belegt, hierüber wird eine Schichte guten Stannioles gewickelt und die Zweige einer Biegung unterworfen.

Zuerst rötet sich das Papier an der inneren Seite des gebogenen Teiles, dann an der äußeren und später erst an den übrigen Teilen der Zweige.

Versuch Nr. 8.

Zweige derselben Pflanzen wurden mit glatten Schnittflächen versehen und frei in der Hand gebogen.

Kurz nach Eintritt der Biegung quillt an beiden Schnittflächen Wasser heraus.

Von Wichtigkeit für das Verständnis des durch Biegungen veranlaßten Trockentodes ist auch der in Kapitel II. mitgeteilte Versuch Lamonts, welcher die überaus langsame Diffusion des Wasserdampfes aus engen Röhren dartut und beweist, daß dadurch die Verdunstung stark herabgesetzt wird. — Hieraus läßt sich der Schluß ziehen, daß die wasserdampfreiche Binnenluft auch bei voller Öffnung der Stomata in Windstille nur sehr langsam erneuert wird. — Treten jedoch fortdauernde Biegungen des Pflanzenteiles ein, so verändern die Interzellulargänge ständig ihren Querschnitt, wodurch abwechselnd dampfgesättigtere Binnenluft ausgestoßen und trockenere Außenluft eingelassen wird. — Hiezu kommt noch, daß auch ein Verschluß der Spalten diesen Luftaustausch nicht verhindern kann, wie dies durch die Transpirationsversuche mit Linum usitatissimum bestätigt worden ist. Die bei stärkerem Winde auftretenden Biegungen steigern die Transpiration oft auf das Vielfache der in fixiertem Zustande abgegebenen Dampfmenge.

Alle diese Erscheinungen lassen sich befriedigend nur durch erhöhten Wechsel der Binnenluft infolge von Biegungen erklären [1]).

Austrocknung des Bodens durch Wind bedingt gleichfalls ein Anwelken der Pflanzen. Hierüber vgl. man II. Teil. Kap. II. und Kap. IV. Versuche Nr. 1 mit 6.

III.

Die Erschlaffung turgeszenter Organe durch Bodentrocknis oder durch Biegungen, welche den geschilderten Wasserverlust und Überschreitungen der Elastizitätsgrenze im Gefolge haben (vgl. J. Sachs, Lehrb. der Botanik. Leipzig 1868. Seite 516.), erhöht die Gefahr der mechanischen Beschädigung durch Knickung 2c.

Die noch folgenden Versuche in Kap. IV. Nr. 1 mit 3 über das Wachstum in trockenen und feucht erhaltenen Tongefässen haben für die Pflanzen der ersteren Kategorie eine Menge von Verletzungen ergeben, während die turgeszenten feucht erhaltenen Pflanzen nur wenige oder keine durch Peitschen, Reiben oder durch Knickung entstandene Wunden aufzuweisen hatten.

Die Beobachtung der mechanischen Beschädigung von Blättern und

[1]) Man vergleiche auch J. Sachs, Lehrbuch der Botanik. 1870. Seite 580 u. 581.

Zweigen ergab dasselbe Resultat, daß Turgeszenz die mechanischen Verletzungen in demselben Maße wie das Peitschen herabmindert.

Solche turgeszierende Gewebe leiden bei sehr hohen Windstärken im allgemeinen mehr durch offene Brüche.

Versuch Nr. 9.

Schlank erwachsene jüngere Schattenpflanzen von Impatiens parviflora werden einem Winde von 12 m ausgesetzt.

Nach wenigen Minuten sind die Stämme der meisten gebrochen. —

Ähnliche Pflanzen wurden eine Stunde lang einer geringeren Windstärke von 7 m ausgesetzt, bis sie etwas erschlafft sind.

Die Windstärke wird nun auf 12 m erhöht. Die Stämmchen legen sich dem Boden an, leiden zwar durch Abschürfung und Knickung, bleiben jedoch am Leben.

IV.

Verhalten der Spaltöffnungen bei Biegungen der Pflanzenteile.

Max Westermaier [1]) konstatierte unter dem Mikroskop eine Beeinflussung der Öffnungsweite der Stomata durch mechanische Beanspruchung des betreffenden Pflanzenteiles durch Zugspannung.

Versuch Nr. 10.

Durch Austrocknung des Bodens wird eine Reihe von Topfpflanzen Impatiens parviflora, Syringa vulgaris, Sambucus nigra zum Anwelken gebracht.

Der dicke Flächenschnitt zeigt, daß die Spalten der Blätter geschlossen sind.

Die Blätter werden nunmehr mittelst Stahlschem Kobaltpapier ober- und unterseits belegt und mit Stanniol und Glimmerplatten luftdicht abgeschlossen. In Ruhelage ergibt sich binnen fünf Minuten keine Rötung des blauen Kobaltpapieres.

Die Spreiten werden nun Biegungen unterworfen durch leichte Wendungen in der Hand. In kurzer Zeit rötet sich die Unterseite an der Stelle, welche am meisten abgebogen wurde. (Verletzungen sind nicht aufgetreten.)

Der Verschluß der Stomata angewelkter Pflanzenblätter ist demgemäß nicht so hermetisch, als daß nicht durch Biegung hervorgerufene Spannungen ein Durchpassieren von Interzellularluft ermöglichen könnten [2]).

---

[1]) „Botanische Untersuchungen S. Schwendener zum 10. II. 1899 dargebracht." Berlin 1899. Seite 75.

[2]) Vgl. auch L. Jost. „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie". Jena 1904. S. 50.

V.

Wind und Blattnervatur.

In letzter Zeit ist verschiedentlich die Anschauung vertreten worden, die Blätter und Nadeln würden dadurch zum Absterben gebracht, daß sich die dünnen Gefäßbündel im Winde so verändern, daß sie ihre Wasserleitungsfähigkeit einbüßten und Luft führten; hierdurch würde der Transpirationsstrom unterbunden, und das Mesophyll müßte vertrocknen. —

Diese Minderung der Wasserleitungsfähigkeit dürfte nach den Versuchen Nr. II durch fortwährende Biegungen veranlaßt sein: Alteration der hydrostatischen Verhältnisse.

Versuch Nr. 11.

Es gelangen Vitis vinifera, Impatiens parviflora und Prunus padus (Topfpflanzen) mit dem Sproßteile in Wind (10 m); sodann wurden die stärkeren Blattnerven von je drei Blättern, welche den Typen der jungen und der Schattenblätter entsprachen, durchschnitten und sämtliche feineren Nerven mit einer Nadel angestochen, und die so behandelten Blätter fixiert.

Nach Ablauf eines Tages waren von den nicht präparierten Blättern sämtliche Schattenblätter und jungen gestreckteren Blätter meist schwer durch Faltung und Trauma beschädigt, während die Blätter, deren Leitbündel durchstochen waren, infolge der Fixage vollständig frisch erhalten wurden.

Die Blattnervatur wirkt eventuell durch den Mangel entsprechender mechanischer Biegungsfestigkeit verderblich auf die Gesundheit der Lamina; eine primäre tötliche Einwirkung bedingt durch Veränderungen der Leitbündel im Winde ist wohl weniger anzunehmen.

Die oft tiefbraune Färbung der Gefäßbündel dürfte damit zusammenhängen, daß die Chromogene sich hier unter Zutritt von Wasser oxydieren, während in dem parenchymatischen Gewebe bei Vertrocknungserscheinungen — wohl infolge von Wassermangel die grüne Farbe erhalten bleibt.

VI.

Einfluß der unnatürlichen Blattlage auf die Gesundheit der Lamina.

Die Assimilationsorgane, insbesondere die der Luvseite von Laubbäumen, werden im Winde großenteils so um sich selbst gedreht, daß die Blattunterseite nach oben weist. Da dieser Zustand längere Zeit andauern kann, so war nicht ausgeschlossen, daß hiedurch Blattbeschädigungen entstehen. Durch nachfolgenden Versuch sollte Aufklärung geschaffen werden.

Versuch Nr. 12.

Eine Anzahl Blätter von Fagus silvatica, Quercus pedunculata, Acer pseudoplatanus, A. platanoides, Vitis vinifera, Impatiens parvi-

flora, Tilia grandifolia, T. parvifolia, Populus nigra, Prunus cerasus wurden im Juni 1905 mittelst umsponnenen Kupferdrahtes invertiert, so daß die physiologische Blattunterseite gegen oben gekehrt war.

Die stärkeren Nerven entwickelten während des Wachstums der Blätter energische Kraftleistungen behufs Erlangung der natürlichen Lichtlage, so daß oftmalige Revision nötig war.

Die Gesundheit der Blätter, sowohl der besonnten wie der in Schatten befindlichen, schien keineswegs ungünstig beeinflußt zu werden; Assimilationsproben ergaben, daß etwas weniger Stärke gebildet wurde, als bei normaler Lichtlage.

Die Verhältnisse der Stärkebildung bei drei Monate lang von Jugend auf gewendeten Blattspreiten entsprachen ungefähr den Zahlen 1 : 4 nach der makro- und mikroskopischen Jodprobe.

Der Gesundheitszustand der gewendeten Blätter verschlechterte sich zusehends, als im September eine Regenperiode einsetzte; nach kurzer Zeit waren die Blätter verfault — offenbar durch das sich zwischen den erhöhten Nerven der physiologischen Blattunterseite ansammelnde Wasser. — Das übrige Laub blieb etwa drei bis vier Wochen länger erhalten als die gewendeten Blätter.

Die anatomische Untersuchung ergab, daß keine prinzipiellen Änderungen der Anordnung der Zellgewebe und der Zellformen auch bei Inversion sofort nach der Entfaltung der Knospe sich herausgebildet hatten. Die Höhe der Palissaden war in einigen Fällen geringer als bei normalen Blättern, in anderen Fällen waren die Verhältnisse vollständig gleich. —

Die Färbung der physiologischen Blattoberseite erlangte bei Umwendung einen dunkleren Ton, während die nach oben gekehrte Blattunterseite fahlgrün erschien. —

Im übrigen verweise ich auf die speziellen Versuche betreffend die Assimilation gewendeter Blätter im Winde.

VII.

Einflüsse sonstiger Eigenschaften und Beimengungen der durch Wind herangeführten Luft.

Hauptsächlich aus einer Richtung wehende Luftströme können durch die Eigenschaften der mitgeführten Luft der Vegetation zum Nachteil oder Vorteil gereichen.

Nachteilig sind insbesondere solche Winde, welche trockene oder kalte [1]) Luftmassen bringen, vorteilhaft können warme und feuchte Winde von nicht zu großer Geschwindigkeit wirken [2]).

---

[1]) Vgl. G. Beck. In „Hernstein in Niederösterreich" (herausgeg. von M. A. Becker). Wien 1884. II. 1. Seite 101.

[2]) Vgl. Golfstrom und europäisches Klima, welch letzteres durch das Vorherrschen der Westwinde gemäßigt wird.

Im nachfolgenden Teile seien einige der abnormen Beimengungen der Luft, welche für die Pflanzenwelt von Belang sind, besprochen.

1. Salz.

Die allen Meeresküsten eigentümliche Beschädigung der Vegetation, insbesondere der hochwachsenden Pflanzen, gab vielen Forschern den Gedanken ein, die salzige Seeluft bringe die ihr besonders exponierten Pflanzensprosse zum Absterben. So setzten Riefkohl, Focke, Frischauf, Böhm, Storp, Anderlind, G. Beck, Heß, Ritli u. a. die oben genannte Erscheinung ganz oder teilweise auf Rechnung des in der Seeluft enthaltenen Salzes, während andere wie z. B. Borggreve nachwiesen, daß die gleichen Erscheinungen auch im Hochgebirge, an größeren Süßwasserseen und in Freilagen überhaupt zu beobachten sind.

Storp wollte die Wirkung des Salzwasserstaubes auf Blätter praktisch erproben, indem er die Blattorgane von Eichen- und Fichten-Topfpflanzen während eines ganzen Sommers wöchentlich 1—2mal mit 3%iger Kochsalzlösung bestäubte.

Obwohl sich nach Verdunstung des Wassers regelmäßig Salzkryställchen auf den Blättern ablagerten, konnte Storp keine „unzweifelhaft auf die Salzbestäubung zurückzuführende(n) Beschädigungen" nachweisen.

Die Blätter der Eichen welkten erst im Herbste.

Zur weiteren Aufklärung dieser Frage stellte ich folgenden Versuch an:

Versuch Nr. 13.

Es wurden die Pflanzenblätter mittelst eines Haarpinsels mit der Kochsalzlösung bestrichen; der Erdboden wurde durch Wachstuch gegen eventuelles Abtropfen des Salzwassers geschützt.

Pisum sativum.

Die nicht benetzbare Epidermis läßt die Salzwasserteilchen abtropfen. — Die Blätter sämtlicher Altersstufen widerstehen konzentrierteren Salzlösungen bis zu 15 %.

Impatiens parviflora, Vitis vinifera, Quercus pedunculata, Acer pseudoplatanus, A. campestre, Alnus glutinosa, Ulmus effusa, Cornus mas, Fraxinus excelsior, Tilia grandifolia, T. parvifolia:

a) Die jungen mit glänzender Cuticula versehenen Blätter zeigen nach 20maliger Befeuchtung mit 4%iger Kochsalzlösung keine Erkrankung.

b) Einige mit brüchiger, leicht benetzbarer Cuticula versehene ältere Blätter welken nach mehrmaliger Befeuchtung und sterben unter Vertrocknungserscheinungen ab.

Demnach gewährt Unbenetzbarkeit der Blätter absoluten Schutz gegen Salzwasser. —

Leicht benetzbare Blätter — insbesondere solche mit brüchiger Cuticula — sind durch Salzwasser gefährdet.

2. Staub.

In der Nähe von breiten Landstraßen oder größeren unbewachsenen Flächen, besonders auf deren Leeseite, pflegt die Vegetation durch Wind mit feinen Staubpartikeln bedeckt zu werden, sodaß oft kaum die grüne Farbe noch zu erkennen ist.

Um die Frage zu entscheiden, ob diese Folgeerscheinung von Luftströmung für die betroffenen Pflanzen von Bedeutung sein kann, wurden praktische Versuche mit Impatiens parviflora durchgeführt.

Versuch Nr. 14.

Unter einem Glasdache stellte ich 30 möglichst gleiche 2 bis 3 cm hohe Keimpflanzen Impatiens parviflora in 2 Sektionen zu je 15 Pflanzen auf.

Sektion I wurde täglich mit gewöhnlichem Straßenstaube (toniger Mergel mit allerlei organischen Resten) überstäubt.

Sektion II wurde vor Staub durch tägliches Waschen geschützt.

Nach 5 Wochen waren alle Pflanzen gesund und zeigten die folgenden Proportionen:

Durchschnittliche Stammhöhe		Durchschnittliche Blattfläche		Trockengewicht pro Blatt	
Sektion I	Sektion II	Sektion I	Sektion II	Sektion I	Sektion II
cm	cm	qcm	qcm	mg	mg
45	32	41	22	102	49

Farbe:

Die bestaubten Blätter waren tief-dunkelgrün, während die nicht bestaubten hellgrün gefärbt waren.

Die Bestaubung hatte den sonst sehr empfindlichen Impatiens-Blättern keinerlei erkennbare Nachteile gebracht; im Gegenteil waren die bestaubten Pflanzen kräftiger entwickelt als die nicht bestaubten, was bei Impatiens, einer ausgesprochenen Schattenpflanze, auf die durch die Staubschicht bedingte Annäherung an das Licht-Optimum zurückzuführen sein dürfte.

3. Giftige Gase.

Die giftigen Verbrennungsprodukte der Steinkohle, sowie Abgase chemischer Fabriken, die Dünste der Solfataren usw., werden durch Wind von dem Orte ihres Entstehens aus weiterbefördert. Bei Vorherrschen einer Hauptwindrichtung zeigt infolgedessen die leeseitige Umgebung größerer

Städte und Fabriken 2c. Beschädigungen der Pflanzenwelt, besonders der Assimilationsorgane. Diese werden stellenweise getötet, und erhalten Flecke, welche den durch reine Windwirkung erzeugten ähnlich sein können.

Es ist jedoch eine ziemlich scharfe Trennung der Rauchschäden von der reinen Windbeschädigung möglich, soferne man die Erscheinungen während des Absterbens beobachtet. Die mechanischen Verletzungen sowie die Vertrocknungserscheinungen durch Faltung und Biegung sind unschwer als allgemeine Wirkung bewegter Luft zu erkennen, wobei aber zu berücksichtigen ist, daß durch die stärkere Durchlüftung der Interzellularen auch eine erhöhte Einwirkung der suspendierten Giftstoffe stattfinden muß, welche sich mit der Austrocknung kombiniert, und mit dieser zusammen den Tod des Pflanzenteils verursachen kann.

4. Sand.

In Gegenden, deren Bodenoberfläche aus losem Sande gebildet wird, pflegt jeder stärkere Wind mit Sandkörnchen beladen zu sein.

In der Sandwüste werden nicht nur Pflanzen, sondern auch Felsgesteine durch Windschliff mechanisch angegriffen.

In Ostgrönland fand N. Hartz durch Sand beschädigte Bäume und Gräser.

Gerhard beschreibt ähnliche Erscheinungen in den Dünengebieten an der Seeküste Norddeutschlands.

5. Schnee, Duft, Hagel.

Die windseitigen Äste von Bäumen werden bei Schneefall besonders stark belastet; in vielen Fällen erleiden sie mehr oder weniger schwere Verletzungen durch Bruch. Die biegsamen Stammteile kleinerer Pflanzen werden nicht selten, besonders in den Hochalpen und Polarregionen gegen lee dem Boden angedrückt, und in dieser Lage fixiert. —

Die gleichen Erscheinungen kann Eisanhang an den Sproßteilen bewirken, indem sich der unterkühlte Wasserdampf der Luft hauptsächlich an den luvseitigen Sprossen als „Duftanhang“ ausscheidet. —

Hagelkörnern verleiht eine der Erdoberfläche parallel streichende Luftströmung horizontale Stoßkraft, welche bedeutende Stärke erreichen kann. Im Verein mit der durch den freien Fall erzeugten richtet sich diese Stoßkraft gegen die windseitigen Pflanzenteile.

Die Hagelbeschädigungen sind rein mechanischer Art und leicht nachweisbar.

6.

Durch Verbreitung der Fortpflanzungsprodukte von Parasiten — oder dieser selbst kann Wind gefährlich werden. Das örtliche Vorwärtsschreiten mancher Pilzkrankheiten höherer Gewächse fällt oft mit der Rich-

tung des vorherrschenden oder des feuchten respektive trockenen Windes zusammen. — Als Bekämpfungsmittel gegen solche Infektionskrankheiten ist künstlicher Windschutz schon vorgeschlagen worden; Hartig empfiehlt z. B. Ste 96. Lb. die Anlage von 2 m hohen Bretterwänden am Rande der gefährdeten Kiefernsaatbeete gegen Lophodermium pinastri.

VIII.

Die im Winde allgemein auf Pflanzensprosse wirkenden pathogenen Kräfte.

Sieht man von den mehr lokal in Erscheinung tretenden Beschädigungen durch abnorme Beimengungen und die Temperatur der bewegten Luft ab, so bleiben als hauptsächlichste Krankheiten erzeugende Momente des Windes die mechanischen und austrocknenden Eigenschaften.

1.

Die **mechanischen Kräfte** [1] des Windes spielen bei den Erkrankungen oberirdischer Pflanzenteile die Hauptrolle; werden sie ausgeschaltet, wie dies bei einer Fixierung der Fall ist, so konnten Windgeschwindigkeiten bis zu 14 m pro Sekunde keinerlei Schaden verursachen.

a.

Quetschung und Zersprengung von Gewebeteilen wird durch die in dem Pflanzenkörper entstehenden Druck- und Zugspannungen bedingt; außerdem führen scheerende Kräfte zu Verschiebungen der inneren Teile gegeneinander durch Zerreißung oder Überdehnung der verbindenden Gewebe, wodurch Knicke entstehen können.

b.

Auch die äußeren Verletzungen werden lediglich durch die mechanische Gewalt des Windes hervorgerufen. (Reibung, Stoß.)

c.

Die Biegung von Pflanzensprossen hat eine Wasserverdrängung aus den gepreßten Zellgeweben und erhöhte Durchlüftung des Interzellularsystems zur Folge, wodurch die betroffenen Teile der Gefahr einer Vertrocknung unterliegen.

2.

Die in Abschnitt II, 4 erläuterten, **die Verdunstung steigernden Eigenschaften** des Windes erhöhen den Umfang der durch die mechanischen Eingriffe bedingten Beschädigung bei Verletzung dadurch, daß in der Regel auch gesunde angrenzende Gewebe vertrocknen.

In anderen Fällen werden die Pflanzenteile durch Biegungen lediglich in ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Vertrocknung herabgesetzt, sie werden zum Trockentode prädisponiert:

---

[1] Vergl. Abschnitt II, 2.

Hier ist es die wasserentziehende Wirkung des Windes, welche ausschlaggebend für Fortbestand oder Tod auftritt. Bei geringem **Sättigungsdefizit** der Luft wird der Pflanzenteil erhalten bleiben, bei hohem dagegen je nach dem Grade der Biegungen in kurzer oder längerer Frist vertrocknen.

Kapitel 4.

Wachstum im Winde.

In Abschnitt I, Abs 1 wurde ausgeführt, daß die Pflanzenwelt in Gegenden, welche von stärkeren Winden heimgesucht werden, sich durch geringe Ausmaße der Sproßteile auszeichnet. —

Schon Riefkohl beobachtete diese Abnormität und beschrieb in einer Broschüre („Die Insel Norderney", Leipzig 1861, pag. 24) den auffallend niedrigen Wuchs, die große Neigung zur Bildung niederliegender Äste und die ungemein starke Entwickelung der Wurzel. — Als Ursachen für diese Erscheinungen nennt der genannte Verfasser „die stark mit Feuchtigkeit und salzhaltigen Teilen geschwängerten heftigen Meereswinde" sowie das „Vegetieren derselben[1] im leichten beweglichen Dünensande". —

Nach Riefkohl erwähnten noch Middendorff (1864), Borggreve 1873), Knuth (1888), Kihlman (1890), Storp (1891), Buchenau (1895), Warming (1895), Hansen (1901), Früh (1901), Gunnar-Andersson (1902), Beccari (1902), Rikli (1903) die Tatsache des Kleinbleibens der Windpflanzen. —

Außerordentlich unsicher, wenn nicht unmöglich, ist es jedoch, aus Erscheinungen in der freien Natur Rückschlüsse auf die Wirksamkeit bestimmter Faktoren zu ziehen:

So schien zum Beispiel die relative Mächtigkeit der Wurzeln gegenüber der Kleinheit der oberirdischen Organe zu dem Schlusse zu berechtigen, daß der Wind als Anreiz zu gesteigertem Wurzelwachstum auf Kosten des Zuwachses der Sproßteile wirke. —

Um einige Übersichtlichkeit über die Bedeutung der durch Wind bedingten

a) Bodentrocknis,

b) Temperatur des Bodens und der Sproßorgane,

c) Mechanischen Beanspruchung der Pflanze, und

d) Transpirationsverhältnisse

für das Ausmaß des Zuwachses zu beschaffen, führte ich eine Anzahl von Versuchen durch. —

Sodann sollte im allgemeinen der Zusammenhang zwischen Windstärke und Wachstum von Sproß und Wurzel verschiedenartiger Pflanzen durch vergleichende Messungen festgelegt werden. —

[1] Der niedrig wachsenden Pflanzen.

Die Versuche, das Wachstum betreffend,

wurden an einem gegen direkte Besonnung geschützten und mit einem Glasdache gegen unmittelbare Einwirkung der Atmosphärilien versehenen Raume des Versuchsgartens der K. landwirtschaftlichen Akademie Bonn-Poppelsdorf durchgeführt. Die Standorte der Versuchspflanzen wurden auf die Beleuchtungsverhältnisse einzeln geprüft und so gewählt, daß im Zweifelfalle die Windpflanzen die besseren Bedingungen erhielten; die Intensität des jeweiligen Lichtes stellte ich mittels Chlorsilberpapier fest.

Für die Versuche verwendete ich junge schnellwachsende Pflanzen, welche ich in großen Mengen aus Samen zog, und wählte bei Bedarf gleichartige und gleichgroße Individuen aus.

Prinzipiell wurden die zu den Versuchen ausersehenen und in Töpfe verpflanzten respektive in Nährlösung enthaltende Glasgefäße mit dem Wurzelteil eingebrachten Keimlinge erst dann zu Versuchen benützt, wenn ihr Wurzelsystem den neuen Verhältnissen angepaßt war. Zur Aufklärung der Frage, welchen Anteil die durch Wind verursachte B o d e n t r o c k e n h e i t an der Minderung des Zuwachses der darin stockenden Pflanzen nehmen, stellte ich vergleichende Versuchsreihen zusammen:

Die Pflanzen der einen Reihe erhielten bei verschiedenen Windstärken je gleichviel Wasser zur Feuchterhaltung der Erde, und zwar genau dieselbe Quantität wie sie dem optimalen Bedürfnisse der außer Wind befindlichen Pflanzen entsprach.

Die Gefäße, welche dieser Versuchsreihe angehörten, erhielten die Bezeichnung I a — II a — III a, wobei die römische Ziffer für eine jeweils näher angegebene Windstärke, und der Index a als Ausdruck der Bewässerung in obigem Sinne gebraucht wurde. —

Die Parallelreihe enthielt Pflanzentöpfe, welche zum Zwecke stetiger Feuchterhaltung der Erde in Porzellanschalen — gefüllt bis zu einer bestimmten Marke mit Wasser — standen. — Die Gefäße dieser Kategorie erhielten die Bezeichnungen I b — II b — III b, wobei die römischen Ziffern wie vor die Windstärke und der Buchstabe b die Feuchtigkeit des Bodens ausdrücken soll. —

Da diese Versuchsanstellung jedoch noch kein klares Bild für den wirklichen Einfluß der Bodenveränderung durch Wind und andernteils der direkten Einflußnahme des Windes auf den Sproßteil bieten konnte, so schaltete ich den Einfluß des Bodens völlig aus, indem ich N ä h r l ö s u n g s - k u l t u r e n bewindete, und auf solche Art das Zuwachsresultat als r e i n e n E f f e k t d e r W i n d w i r k u n g a u f d e n S p r o ß t e i l erzielte.

Die Messungen wurden täglich Vormittags so vorgenommen, daß die zusammengehörigen Vergleichszahlen rasch nacheinander bestimmt wurden.

Alle Temperaturen ermittelte ich mit Hilfe eines äußerst feinen Ther-

mometers mit zylindrischem Quecksilberbehälter, welcher bei Temperaturmessungen des Erdbodens bis zu einer jeweils angegebenen Tiefe eingeführt wurde; die Temperatur von Sproßorganen wurde durch allseitige innige Berührung annähernd festgestellt.

Die Wärmeverhältnisse der Nährlösung in den Versuchsgefäßen legte ich im Anschluß an die Wägung des Transpirationsverlustes fest, selbstredend vor Ersatz der aufgenommenen Wassermenge.

Der Einfluß der rein mechanischen Beanspruchung der Sproßteile durch Wind auf die Intensität des Wachstums derselben soll dadurch klargestellt werden, daß bei der einen Versuchsreihe die Pflanzen durch stützende Vorrichtungen vor stärkeren Biegungen und damit verbundene Verletzungen und Störung der hydrostatischen Verhältnisse in den Geweben geschützt werden, die Parallelreihe jedoch der Windwirkung wie in der Natur ausgesetzt ist.

Die befestigten Pflanzen, respektive die Gefäße, in welchem dieselben wurzeln, erhalten den Index β; das Gefäß mit den frei belassenen Pflanzensprossen wird mit dem Index α belegt werden.

Versuch Nr. 1.

Es wurden 6 Tongefäße mit je 800 ccm humoser Gartenerde gefüllt und mit erlesenen gleichen 12 Tage alten Pflanzen Linum usitatissimum bestellt.

In gleiche Windstärken sollten je 2 Gefäße gelangen, von welchen je eines dadurch feucht erhalten wurde, daß eine mit Wasser gefüllte Porzellanschale als Untersatz zu dienen hatte. Diese Gefäße erhielten die Bezeichnungen I b, II b und III b.

Das andere Gefäß jeder der 3 Sektionen erhielt stets dieselbe Wassermenge, welche dem optimalen Bedürfnis der außer Wind befindlichen Pflanzen von Sektion III entsprach: Gefäß I a, II a, III a.

Die Gefäße mit den jungen Pflanzen wurden sodann vor dem Ventilator so aufgestellt, daß

I a	und I b,	(Sektion	I)	Wind	9	m pro Sekunde
II a	„ II b,	(„	II)	„	3	„ „ „
III a	„ III b,	(„	III)	„	—	„ „ „

exponiert waren.

Die Messungen und die Bewässerung der Pflanzen wurden täglich Vormittags zwischen 9 und 10 Uhr vorgenommen. Tabelle hiezu s. nächste Seite.

Versuch Nr. 2.

Es wurden 5 Tongefäße je mit 500 ccm Gartenerde gefüllt und mit ausgelesenen gleichen 8 Tage alten Pflanzen von Linum usitatissimum in regelmäßigem Dreiecksverbande bepflanzt. Fortsetzung des Textes siehe Seite 94.

Das Wachstum beeinflussende Faktoren; während des Versuches beobachtet. (Versuch Nr. 1.)

Datum	Temperatur in ° Celsius der Luft		des Bodens in 2 cm Tiefe						der Pflanzensprosse						Luftfeuchtigkeit	Barometerstand	Wasserzugabe zu den Gefäßen					
Juli 1905	max.	mim.	I a	I b	II a	II b	III a	III b	I a	I b	II a	II b	III a	III b	%	mm	I a	I b	II a	II b	III b	III a
21	21,5	12,3	16,7	16,1	16,9	16,6	17,5	17,3	17,4	17,4	17,7	17,4	17,8	17,6	97	760	40	150	40	150	40	250
22	22,6	12,2	18,9	18,2	18,8	18,6	19,1	18,9	19,5	19,4	19,5	19,5	19,9	19,6	81	760	60	150	60	100	60	—
23	28,4	16,4	22,7	22,5	23,1	22,8	23,1	23,-	22,8	22,6	22,9	22,8	23,-	22,9	67	755,1	80	350	80	200	80	100
24	26,3	16,2	21,3	21,2	21,3	21,2	21,9	21,7	20,7	20,6	20,8	20,8	20,9	20,8	89	753,9	50	350	50	270	50	100
25	17,3	11,7	16,9	16,8	17,1	16,9	17,5	17,5	16,1	16,-	16,5	16,4	16,-	15,9	73	759,8	60	270	60	200	60	100
26	24,8	15,7	21,8	21,5	22,1	22,-	22,5	21,9	22,7	22,5	22,9	22,6	22,5	22,7	78	760	40	300	40	200	40	50
27	28,6	14,7	23,5	23,3	23,9	23,2	24,5	24,3	24,-	23,9	23,8	23,8	24,-	23,8	85	757,8	50	100	50	100	50	50
																Summa Wasserzugabe	380	**1670**	380	**1220**	380	**650**

Die Wasserverdunstung bei den Windstärken 9 m, 3 m und 0 m pro Sekunde verhielt sich demnach ungefähr wie **3 : 2 : 1.**

Das Wachstum beeinflussende Faktoren; während des Versuches beobachtet. (Versuch Nr. 2.)

Datum	Temperatur in ° Celsius der Luft		des Bodens in 2 cm Tiefe					der Pflanzen in den Gefäßen					Barometerstand	Luftfeuchtigkeit	Wasserzusatz in ccm zu den Gefäßen				
Aug. 1905	max	min.	I a	I b	II a	II b	III	I a	I b	II a	II b	III	mm	%	I a	I b	II a	II b	III
10	28,4	15,7	21,9	21,4	22,1	22,-	22,3	24,-	24,3	24,7	24,8	24,1	758,4	81	30	100	30	50	30
11	23,5	12,4	18,9	18,5	19,3	18,9	19,7	18,6	18,1	18,4	18,1	18,5	758,9	72	30	110	30	70	30
12	21,9	11,2	16,6	16,4	17,2	17,1	18,4	16,8	16,6	16,9	16,2	16,5	763,5	78	60	200	60	100	60
13	20,8	8,2	15,8	15,5	16,-	15,9	16,5	16,3	16,-	16,4	16,2	16,4	766,-	85	60	200	60	150	60
14	23,8	9,2	18,-	17,4	18,4	17,9	18,2	18,9	18,5	18,8	18,6	18,4	763,3	77	100	200	100	100	100
15	27,1	10,7	19,9	19,1	19,8	19,8	21,6	23,4	23,-	23,5	23,2	23,3	760,7	66	100	320	100	270	100
16	29,3	15,1	19,8	18,9	20,4	19,2	22,4	25,8	25,3	25,6	25,4	25,1	757,4	97	140	400	140	300	140
17	22,3	16,-	18,9	17,2	18,6	17,9	20,3	19,5	18,9	18,8	18,7	19,2	759,8	86	20	200	20	100	20
18	21,4	11,2	18,8	17,8	18,7	18,1	19,2	18,5	18,1	18,5	18,3	18,-	759,9	79	20	100	20	50	20
Summa Wasserzugabe															560	**1830**	560	**1190**	**560**

Wie in dem vorhergehenden Versuche wurden 3 Sektionen gebildet:
Sektion I mit 2 Tongefäßen gelangte in Wind 8 m pro Sekunde.
Sektion II desgl. in Wind 3 m pro Sekunde.
Sektion III jedoch mit nur einem normal feucht zu erhaltenden Gefäß in Wind — m pro Sekunde.

Ebenso wie vor wurden die Töpfe Ia, IIa genau so befeuchtet wie Topf III.

Die Töpfe I b, II b erhielten mit Wasser gefüllte Porzellanschalen als Untersätze, um stetig feucht zu bleiben.

Die Messungen wurden Vormittags zwischen 9 und 10 Uhr vorgenommen.

Resultat des Versuches Nr. 2.

Nr. des Gefäßes	Wurzel: mittlere Länge mm	Wurzel: pro Pflanze Trockengewicht mg	Wurzel: Beschaffenheit	Sproß: mittlere Länge mm	Sproß: mittlere Blattfläche qmm	Sproß: pro Pflanze Trockengewicht mg	Sproß: Beschaffenheit
I a	70	5	Durch Bodentrocknis teils krank, teils getötet. Brüche und Zerreißungen.	118	10	20	Durch Bodentrockenheit veranlaßte Schlaffheit der Hypokotyle hat zur Folge, daß diese dem Boden anliegen und durch Reibung, Knikkung und Umdrehungen um die eigene Axe (Torsionen) beschädigt und zu ca. 2 dritteilen getötet sind.
I b	92	13	Die Hauptwurzel ist im oberen Teile durch Reibung im Boden der Epidermis beraubt. Knikkungen und Zerreißungen.	130	17	65	Alle Pflanzen sind turgeszent. Stengel und Blätter weisen mannigfache bis zu $^1/_2$ mm tiefe Abschürfungen auf.
II a	130	20	Die hochsitzenden Wurzeln sind durch Trocknis getötet.	142	18	81	An einigen Stengeln und Blättern ist die Epidermis durch Stoß oder Reibung beschädigt.
II b	135	28	Gesund.	165	22	93	Gesund.
III	148	29	Gesund.	190	30	127	Gesund.

Versuch Nr. 3.

In 6 je 300 ccm Erde enthaltende Tongefäße wurden je gleiche Quantitäten auskeimender Samen Linum usitatissimum eingebracht.

Die Ausführung des Versuches war die gleiche wie bei Versuch Nr. 1. und fiel in die Zeit vom 10. mit 18. August 1905.

Das Temperaturminimum betrug $8{,}2^{\circ}$ C.

Windstärken:

Sektion	I a und b	enthielten	Wind	10 m
„	II a und b	„	„	3 m
„	III a und b	„	„	0 m

Wasserzugabe:

In Summa erhielten:

I a	315	ccm Wasser
I b	1590	„ „
II a	315	„ „
II b	1170	„ „
III a	315	„ „
III b	765	„ „

Resultat des Versuches Nr. 3.

Nr. des Gefäßes	Wurzel: mittlere Länge mm	Wurzel: pro Pflanze Trockengewicht mg	Wurzel: Beschaffenheit	Sproß: mittlere Länge mm	Sproß: mittlere Blattfläche qmm	Sproß: pro Pflanze Trockengewicht mg	Sproß: Beschaffenheit
Ia.	34	2,1	Durch Bodentrocknis ist je zirka die Hälfte des Wurzelsystems abgetötet.	25	4	6,4	Sämtliche Stengel und Blätter zeigen Knickungen, Abschürfungen oder Brüche. — Alle Pflanzen sind welk. — Ein Dritteil aller Pflanzen ist tot.
Ib.	46	3	Die Hauptwurzeln zeigen Abschürfung. Einige Seitenwurzeln sind abgeknickt und tot	39	12	16,2	Zirka ein Vierteil aller Sprosse zeigt unbedeutende mechanische Verletzungen. Alle Pflanzen sind turgeszent.
IIa.	58	3,8	In den oberen trockenen Bodenschichten finden sich tote Wurzeln.	48	14	22,5	Nur ausnahmsweise sind Verletzungen des Epikotyls wahrzunehmen. — Das Hypokotyl ist in vielen Fällen infolge von Turgormangel geknickt, und oberflächlich durch Reibung an der Erde beschädigt.
IIb.	65	4,5	Gesund.	52	61	24,3	Gesund.
IIIa.	71	5,9	Desgl.	56	24	26,7	Gesund.
IIIb.	67	5,7	Desgl.	54	25	25,1	Gesund.

Versuch Nr. 4.

In 3 je 600 ccm Gartenerde enthaltende Tongefäße wurden je 5 Pflanzen Helianthus annuus von gleichem Gewichte und annähernd gleicher Beschaffenheit im Dreiecksverbande eingepflanzt.

Die Wasserzugabe wurde nach dem jeweiligen Bedürfnisse geregelt, sodaß aus dem tatsächlichen Wasserverbrauche auf den Grad der Gefährdung durch Bodenaustrocknung geschlossen werden kann.

Es erhielten während der Versuchsdauer vom 10. mit 15. August 1905:

I . . . . 1250 ccm Wasser
II . . . . 795 „ „
III . . . . 305 „ „

Die Windstärken waren bei:

Gefäß Nr. I . . . . 8 m pro Sekunde
„ „ II . . . . 3 „ „ „
„ „ III . . . . 0 „ „ „

Resultat des Versuches Nr. 4.

Nr. des Gefäßes	Wurzel: mittlere Länge mm	Wurzel: pro Pflanze Trockengewicht mg	Wurzel: Beschaffenheit	Sproß: mittlere Sproßlänge mm	Sproß: mittlere Blattfläche qmm	Sproß: pro Pflanze Trockengewicht mg	Sproß: Beschaffenheit
I	41	33	Die tieferliegenden Wurzeln gesund. Die hochstreichenden Seitenwurzeln sind infolge zeitweiliger Austrocknung getötet.	42	44	224	Alle Stengel und Blattorgane sind durch Verletzungen schwer beschädigt; Knickung, Abschürfung und Bruch.
II	49	89	Gesund.	53	159	385	Gesund.
III	51	98	Gesund.	54	174	473	Gesund.

Versuch Nr. 5.

4 je 600 ccm Gartenerde enthaltende Tongefäße wurden mit je 10 ausgelesenen gleichen 5 Tage alten Pflanzen Zea mais im regelmäßigen Dreiecksverbande bestellt.

Die Windstärke betrug bei:

Gefäß Nr.	I	10 m pro Sekunde
„ „	II	7 „ „ „
„ „	III	3 „ „ „
„ „	IV	0 „ „ „

Die Bodenfeuchtigkeit wurde auf dem optimalen Stande erhalten wie bei Versuch Nr. 4.

Die Wasserzugabe betrug während des Versuches in der Zeit vom 10. bis 18. August 1905:

bei Gefäß Nr.	I	1875 ccm Wasser
„ „ „	II	1220 „ „
„ „ „	III	725 „ „
„ „ „	IV	400 „ „

Resultat des Versuches Nr. 5.

Nr. des Gefäßes	Wurzel: mittlere Länge (mm)	Wurzel: pro Pflanze Trockengewicht (mg)	Wurzel: Beschaffenheit	Sproß: mittlere Länge (mm)	Sproß: mittlere Blattfläche (qcm)	Sproß: pro Pflanze Trockengewicht (mg)	Sproß: Beschaffenheit
I	49	51	Die in den obersten Bodenschichten befindlichen Seitenwurzeln sind im Winde vertrocknet.	25	1,8	65	Alle Blätter sind nahe der Basis abgeknickt. Die oberhalb der Knicke befindlichen Sproßteile sterben rasch ab.
II	74	63	Gesund.	57	2,3	80	Die im Winde fahnenartig flatternden Blätter sind an vielen Punkten geknickt oder durch Reibung oder Stoß verwundet.
III	102	114	Gesund.	141	9,7	194	Gesund.
IV	128	108	Gesund.	183	12,2	213	Gesund.

Versuch Nr. 6.

Es wurden 3 je 600 ccm Gartenerde enthaltende Tongefäße mit je 5 ausgewählten auskeimenden Samen Phaseolus vulgaris bestellt.

Die Windstärke betrug bei:

Gefäß Nr. I . . . . 9 m pro Sekunde
„ „ II . . . . 4 „ „ „
„ „ III . . . . 0 „ „ „

Die nach dem Bedarf geregelte Wasserzugabe betrug während der Versuchsdauer vom 10. mit 18. August 1905:

Es erhielt in Summa:

Gefäß Nr. I . . . . 1630 ccm Wasser
„ „ II . . . . 1220 „ „
„ „ III . . . . 715 „ „

Resultat des Versuches Nr. 6.

Nr. des Gefäßes	Wurzel: mittlere Länge mm	Wurzel: pro Pflanze Trockengewicht mg	Wurzel: Beschaffenheit	Sproß: mittlere Länge mm	Sproß: mittlere Blattfläche qcm	Sproß: pro Pflanze Trockengewicht mg	Sproß: Beschaffenheit
I	70	125	Gesund.	114	19	340	Alle Stämmchen sind gesund, da dieselben genügende mechanische Widerstandskraft gegen die bezüglichen Windstärken besaßen; dagegen sind die Blätter verbogen und verkrüppelt. Sie wurden auch vielfach verletzt.
II	73	140	Gesund.	110	30	405	Die Stämmchen sind gesund. Die Blätter haben einige geringfügige Abschürfungen erlitten; die durch Wind erzeugten Falten riefen abnormes runzeliges Aussehen hervor.
III	71	175	Gesund.	115	47	425	Gesund.

Versuch Nr. 7.

48 je 2 Tage alte Pflanzen Linum usitat. von ziemlich gleicher Beschaffenheit wurden in 12 mit v. d. Crones Nährlösung gefüllte Glasgefäße eingestellt, so daß je 4 Pflanzen in einem Gefäße wurzelten.

Nach 5 Tagen hatten die Pflänzchen ihr Wurzelsystem der Lebensweise im Wasser entsprechend ausgebildet. Jetzt wurden die Öffnungen der Gläser mittelst Watte verschlossen, so daß die Hypokotyle genügenden Halt fanden, um nicht durch den Wind herausgeworfen zu werden.

Die Windstärke war für

Sektion	I . . .	11 m pro Sekunde
„	II . . .	8 „ „ „
„	III . . .	3 „ „ „
„	IV . . .	0 „ „ „

Jede Sektion bestand aus 3 Gläsern mit zusammen 12 Pflanzen.

Die tiefste Temperatur während der 9 Tage dauernden Versuchszeit betrug $8,_2{}^0$ C.

Resultat des Versuches Nr. 7.

Nr.	Wurzel			Sproß			
des Gefäßes	mittlere Länge mm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit	mittlere Sproßlänge mm	mittlere Blattfläche qmm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit
I	35	$4,_2$	Abgestorben	72	7	16	Durch Knickung, Torsion und Abschürfung getötet und vertrocknet.
II	63	$7,_8$	Größere Partieen der Wurzel sind abgestorben	94	12	29	5 Sprosse sind infolge mechanischer Verletzung abgestorben. Die übrigen oberirdischen Organe sind durch Quetschung und Abschürfung beschädigt.
III	88	$13,_5$	Gesund	135	18	66	Ohne sichtbare Schäden.
IV	138	$18,_5$	desgl.	146	22	87	desgl.

Versuch Nr. 8.

Aus einer größeren Zahl in Nährlösung erzogener 6 Tage alter Pflanzen Cucurbita pepo wählte ich drei ähnliche Individuen aus, und brachte sie in drei mit v. d. Crones Nährlösung gefüllte Gläser.

Je ein Glas enthielt eine Pflanze.

Die Windstärke betrug bei

Glas I . . . 10 m pro Sekunde
„ II . . . 5 „ „ „
„ III . . . 0 „ „ „

Die übrigen Bedingungen waren gleich denen von Versuch Nr. 7.

Resultat des Versuches Nr. 8.

Nr.	Wurzel			Sproß			
des Gefäßes	mittlere Länge mm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit	mittlere Sproßlänge mm	mittlere Blattfläche qcm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit
I	104	112	Die Wurzel ist gelblich gefärbt. Einzelne Teile tot.	92	36	1475	Die Blätter sind vielfach durch Abschürfung und Knickung der Stiele beschädigt. — Auf der Oberseite der Kotyledonen finden sich durch Reibung entstandene Löcher.
II	119	220	Gesund.	98	49,5	2125	Gesund
III	146	241	desgl.	99	49	2263	desgl.

Versuch Nr. 9.

Es kamen 3 in gleicher Weise wie in Versuch Nr. 8 behandelte 8 Tage alte Pflanzen Helianthus annuus zur Verwendung.

Die Windstärke betrug während des 9tägigen Versuches bei

Glas I . . . 10 m pro Sekunde
„ II . . . 2 „ „ „
„ III . . . 0 „ „ „

Die Versuchsanstellung war wie vor.

Resultat des Versuches Nr. 9.

Nr.	Wurzel			Sproß			
des Gefäßes	durchschnittliche Länge der Hauptwurzel mm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit	mittlere Sproßlänge mm	mittl. Fläche eines Blattes qcm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit
I	71	40	Die ganze Wurzel ist krank und gelblich gefärbt	76	5,3	239	Die Blattorgane sind durch Knickung, Stoß und Reibung schwer beschädigt. — Die luvseitigen Blätter sind abgestorben.
II	93	101	Gesund	102	12,7	421	Gesund.
III	95	98	desgl.	115	19,2	535	desgl.

Versuch Nr. 10.

Es wurden 12 gleichartige 6 Tage alte Pflanzen Zea mais ausgelesen und hiervon je 4 in ein Glas mit v. d. Crones Nährlösung gebracht.

Die weitere Behandlung war die gleiche wie sie in Versuch Nr. 8 beschrieben wurde.

Glas I gelangte in Wind 7 m pro Sekunde
„ II „ „ „ 3 „ „ „
„ III „ „ „ 0 „ „ „

Das Wachstum beein-

Datum	Barometerstand	Luftfeuchtigkeit	Temperatur in ° Celsius						
			der Luft		der Pflanzensprosse				
Mai 1906	mm	%	Max.	Min.	I α	I β	II α	II β	III
28	761,7	94	18,3	14,	16,4	16,4	16,4	16,4	16,5
29	761,5	82	24,6	14,7	20,8	20,9	20,9	20,8	21,2
30	759,8	79	22,8	12,3	17,5	17,4	17,6	17,7	17,5
31	754,8	84	17,8	12,6	16,6	16,8	16,9	16,9	16,7
Juni									
1	750,2	72	25,8	11,3	17,4	17,3	17,6	17,7	17,6
2	752,5	75	16,0	7,5	14,4	14,5	14,8	14,9	14,8
3	758,1	92	14,0	9,3	11,6	11,4	11,7	11,7	11,6
4	763,3	83	11,8	8,9	10,4	10,2	10,5	10,7	10,6
5	765,6	80	14,4	8,0	12,2	11,8	12,3	12,1	12,0
6	767,1	98	11,4	5,0	12,8	12,8	13,0	13,1	13,0
7	765,1	75	19,3	5,3	16,5	16,2	16,6	16,5	16,3
8	762,3	76	23,0	7,9	18,9	18,6	19,2	19,2	19,1
9	762,1	85	22,9	10,5	17,5	17,2	17,6	17,5	17,6
10	762,9	94	19,6	10,2	17,7	17,4	17,9	17,9	17,7
11	762,2	91	15,4	10,2	13,6	13,2	13,5	13,4	13,4
12	761,8	94	19,2	10,8	17,4	16,7	16,9	16,9	16,6

flussende Faktoren. (Versuch Nr. 11.)

Gewichtsverlust Gramm					Wasseraufnahme Gramm				
Iα	Iβ	IIα	IIβ	III	Iα	Iβ	IIα	IIβ	III
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,94	2,11	2,60	2,60	2,69	2,91	2,10	2,62	2,63	2,70
2,87	2,03	2,51	2,55	2,61	2,86	2,05	2,54	2,58	2,65
3,22	3,52	2,99	3,14	3,28	3,22	3,53	2,98	3,15	3,30
3,04	3,24	2,83	2,74	2,93	3,04	3,25	2,87	2,79	2,97
* 2,64	3,10	2,83	2,90	2,97	* 2,53	3,10	2,86	2,92	2,99
2,80	3,24	2,93	2,87	2,93	2,81	3,27	2,97	2,89	2,98
2,06	4,23	4,96	4,81	4,97	2,06	4,26	4,96	4,84	5,00
** 2,25	4,86	5,65	5,81	5,94	** 2,19	4,89	5,67	5,87	5,98
1,16	3,21	4,87	4,52	5,11	1,20	3,24	4,89	4,55	5,16
1,79	3,82	4,94	5,33	5,99	1,79	3,82	4,95	5,36	6,02
2,20	4,68	5,58	5,33	5,22	2,21	4,69	5,61	5,37	5,27
*** 1,02	4,08	5,78	5,48	5,86	*** 1,00	4,09	5,81	5,52	5,89
0,87	4,91	5,86	6,05	6,37	0,80	4,94	5,89	6,09	6,42
0,28	3,84	4,34	5,10	6,20	0,28	3,87	4,36	5,13	6,24
0,36	4,55	5,89	5,74	5,51	0,35	4,57	5,92	5,77	6,55

* 1 Stengel unterhalb der Kotyledonen abgeknickt.

** 3 Stengel sind geknickt; hiervon ist 1 Sproß zu 2 Dritteilen vertrocknet.

*** Alle Stengel sind im hypokotylen Teile umgeknickt und an den schwächeren Stellen tauförmig gewunden. 2 Pflanzen sind tot.

Resultat des Versuches Nr. 10.

Nr.	Wurzel			Sproß			
des Gefäßes	mittlere Länge mm	pro Pflanze Grüngewicht mg	Beschaffenheit	mittlere Sproßlänge mm	mittlere Blattfläche qcm	pro Pflanze Grüngewicht mg	Beschaffenheit
I	100	205	Größere Wurzelteile sind tot oder absterbend	97	3	235	Alle Blätter sind geknickt worden, nachdem sie eine gewisse Länge erreicht hatten. Oberhalb des Knickes vertrocknet die Lamina.
II	112	420	Gesund	154	10	690	Die über 14 cm langen Blätter sind abgeknickt.
III	146	530	desgl.	245	19	1350	Gesund.

Versuch Nr. 11.

Einfluß der Bewegung der Pflanzensprosse.

5 Nährlösung enthaltende Standgläser wurden mit je 5 gleichartigen 3 Tage alten Exemplaren Linum usitat. bestellt.

Sodann erhielten 2 Gläser (I β und II β) je einen vertikal in die Luft ragenden Rahmen aus Zinkdraht, auf welchem feine Wollfäden so gespannt wurden, daß die wachsenden Sproßteile gegen stärkere Biegungen geschützt waren. Dem Wachstum entsprechend wurde die Anordnung dieser Fäden täglich geändert.

Die Windstärke wurde so reguliert, daß

Glas Nr. I α . . . 9 m pro Sekunde
" " I β . . . 10 " " "
" " II α . . . 3 " " "
" " II β . . . 5 " " "
" " III . . . 0 " " "

Wind erhielt.

Resultat des Versuches Nr. 1.

Nr. der Pflanze	Wurzel: Länge der Hauptwurzel (mm)	Wurzel: Dm. der Wurzelmitte (mm)	Wurzel: Trockengewicht (mg)	Wurzel: Beschreibung	Sproß: Länge (mm)	Sproß: Dm. über den Kotyledonen (mm)	Sproß: Trockengewicht (mg)	Sproß: Beschreibung
Gefäss Ia.				Die Erde ist bis zu 3 cm Tiefe vollständig verhärtet. Nur die den Wurzeln anhaftenden Erdpartikel sind noch etwas feucht. (Stand in Wind 9 m.)				
1	36	0,[illegible]		Spärlich verzweigt. Die oberen Wurzeln sind vertrocknet, die unteren kränklich. Farbe: braun	81	0,7		Der Stengel ist nahe dem Boden abgeknickt und ca. 1 cm weit tauförmig um sich selbst gedreht, wodurch er zerquetscht wurde. — Durch Reibung am Bo[illegible]en sind Stengel und Blätter zerschürft.
2	30	0,[illegible]		Die Hauptwurzel ist im oberen Teile durch Reibung in der Erde der Epidermis beraubt. Absterbend.	103	0,6		Das Hypokotyl ist um die eigene Achse gedreht und innerlich zerquetscht. Epikotyl und Blätter vegetieren noch, sind jedoch vollständig mit Wunden — durch Stoß und Reibung — bedeckt.
3	79	0,[illegible]		Die obere Hälfte der Seitenwurzeln durch Trocknis getötet. Die ganze Wurzel ist krank. (Braun.)	95	0,6		Das Hypokotyl hat durch Reibung an der Stelle, [illegible] es sich über den Boden erhebt, die Epidermis [illegible] verloren. Blätter und Stengel zeigen Knicke und Schürfwunden.
4	45	0,[illegible]		Die oberen Seitenwurzeln sind vertrocknet; das ganze Wurzelsystem ist gebräunt.	65	0,5		Eine Knickstelle des Hypokotyls bewirkt das haltlose Peitschen des ganzen Sprosses, wodurch ²/₃ der Blätter und ¼ des Epikotyls mechanisch zerstört wurden
5	42	0,[illegible]	64	Braun und absterbend.	74	0,6	295	Das Hypokotyl zeigt 2 schwarz unterlaufene Knicke, zwischen welchen der schlaffe Stengel durch Umherschlagen [illegible] wurde. Das Epikotyl und die Blätter sind großenteils durch Abschürfung beschädigt.
6	38	0,[illegible]		Desgl.	75	0,5		Die Epidermis ist an 4 Punkten des Hypo- und Epikotyls durch Reibung am Boden und an Pflanzen, respektive durch das Anschlagen der eigenen Blättchen zerstört.
7	Geschrumpft			Getötet durch Bodentrocknis.	Verdorrt.			Vertrocknet, nachdem die ganzen Sprosse infolge des Turgorschwundes sich durch Peitschen noch meist schwer verletzt hatten.
8								
9								
10								
Gefäss Ib.				Die Erde ist durch Wasserzufuhr aus dem Untersatze feucht. (Stand in Wind 9 m.)				
1	47	0,[illegible]		Turgeszent und weiß. Einige Seitenwurzeln abgebrochen und tot.	99	0,7		Gesund.
2	64	0,[illegible]		Der obere Teil der Hauptwurzel ist durch Abschürfung der Epidermis beschädigt.	101	0,[illegible]		Mit Ausnahme von 2 etwas abgeschürften Blättern gesund.
3	75	0,[illegible]		Gesund. Jedoch sind einige Seitenwurzeln abgerissen und tot.	116	0,7		Am Austritt aus dem Erdboden ist das Hypokotyl stark durch Reibung verletzt.
4	82	0,[illegible]		Gesund.	79	0,6		Wenige Schürfwunden an Hypokotyl und Blatträndern.
5	53	0,5	108	Der obere Teil der Hauptwurzel hat durch Reibung die Epidermis zum Teil verloren.	97	0,8	613	Desgl.
6	90	0,[illegible]		Gesund.	86	0,[illegible]		Desgl.
7	65	0,[illegible]		Gesund.	91	0,[illegible]		Die oberseitigen Zellschichten der Kotyledonen sind durch Anschlagen an das Epikotyl großenteils zerquetscht.
8	53	0,7		Die Epidermis der Hauptwurzel ist zum Teil abgeschürft.	95	0,8		Das Hypokotyl hat am Austritt aus der Erde durch [illegible] sehr gelitten: die Epidermis und die angrenzenden Parenchymzellen sind auf der Leeseite zerstört.
9	57	0,5		Durch starke Biegungen wurden viele Seitenwurzeln abgesprengt.	100	0,8		Auf der Leeseite zeigt das Hypokotyl große braune Flecke, wo durch Stoß und Reibung die äußeren Zellschichten getötet worden sind.
10	70	0,5		Gesund.	65	0,[illegible]		Desgl.
Gefäss IIa.				Die obere Erdschicht ist bis zu 1 cm Tiefe verhärtet. (Stand in Wind 3 m.)				
1	131	0,[illegible]		Die in der Oberschichte befindlichen Seitenwurzeln sind vertrocknet.	80	0,5		Das Hypokotyl ist geknickt. Im übrigen gesund.
2	115	0,4		Desgl. wie 1.	98	0,9		Torsion des Hypokotyls, welche durch Erschlaffung (Welken) verursacht ist.
3	116	0,[illegible]		Desgl. wie 1.	83	0,6		Hypokotyl geknickt.
4	60	0,[illegible]		Desgl. Die Hauptwurzel vertrocknet im oberen Teile.	101	0,[illegible]		Desgl. 2 Blätter sind am Rande abgeschürft.
5	110	0,[illegible]	179	Desgl. wie 1.	85	0,7	576	Desgl.
6	98	0,4		Desgl. Die Hauptwurzel schrumpft.	100	0,[illegible]		Torsion des Hypokotyls infolge Turgorschwundes.
7	62	0,[illegible]		Desgl. wie 1.	86	0,[illegible]		Desgl.
8	100	0,4		Desgl. wie 1.	95	0,[illegible]		Knickung des Hypokotyles.
9	111	0,[illegible]		Desgl. wie 1.	110	0,8		Desgl.
10	48	0,2		Desgl. wie 1.	60	0,2		Im allgemeinen gesund. — Einige Blätter zeigen Schürfwunden.

Nr. der Pflanze	Wurzel: Länge der Hauptwurzel mm	Wurzel: Dm. der Wurzelmitte mm	Wurzel: Trockengewicht mg	Wurzel: Beschreibung	Sproß: Länge mm	Sproß: Dm. über den Kotyledonen mm	Sproß: Trockengewicht mg		Sproß: Beschreibung
Gefäss IIb.	Die Erde ist durch Wasserzufuhr aus dem Untersatze gleichmäßig feucht. (Stand in Wind 3 m.)								
1	135	0,4		Gesund	147	0,8		Der Turgor hat ein Peitschen und Reiben am Boden, sowie Knickung verhindert.	Gesund
2	108	0,3		Desgl.	105	0,8			Desgl.
3	90	0,4		Desgl.	142	0,7			Desgl.
4	85	0,4		Desgl.	127	0,9			Desgl.
5	87	0,3	238	Desgl.	98	0,8	884		Desgl.
6	115	0,4		Desgl.	100	0,9			Desgl.
7	108	0,4		Desgl.	113	0,8			Desgl.
8	92	0,4		Desgl.	122	1			Desgl.
9	99	0,4		Desgl.	101	0,9			Desgl.
10	81	0,3		Desgl.	126	0,6			Desgl.
Gefäss IIIa.	Hatte normale und günstige Vegetationsbedingungen bei Luftruhe. Erde mäßig feucht.								
1	92	0,4		Gesund	109	0,8		Normal entwickelt.	Gesund
2	194	0,4		Desgl.	161	0,9			Desgl.
3	185	0,4		Desgl.	125	0,8			Desgl.
4	115	0,3		Desgl.	85	0,7			Desgl.
5	108	0,5	251	Desgl.	125	0,9	1225		Desgl.
6	140	0,4		Desgl.	101	0,8			Desgl.
7	155	0,3		Desgl.	115	0,8			Desgl.
8	115	0,4		Desgl.	104	1			Desgl.
9	125	0,4		Desgl.	135	1			Desgl.
10	141	0,3		Desgl.	136	1			Desgl.
Gefäss IIIb.	Erde durch Wasserzufuhr aus dem Untersatze sehr feucht. (Stand in ruhiger Luft.)								
1	120	0,3		Gesund	112	0,8		Normal entwickelt.	Gesund
2	125	0,3		Desgl.	111	0,6			Desgl.
3	85	0,3		Desgl.	124	0,8			Desgl.
4	74	0,4		Desgl.	130	0,9			Desgl.
5	102	0,4	234	Desgl.	141	0,9	1166		Desgl.
6	111	0,4		Desgl.	135	0,9			Desgl.
7	140	0,5		Desgl.	143	1			Desgl.
8	130	0,5		Desgl.	110	0,9			Desgl.
9	150	0,5		Desgl.	129	1			Desgl.
10	100	0,3		Desgl.	124	0,9			Desgl.

Zum Zwecke des Nachweises der Transpirationsverhältnisse wurden die Gläser mittelst einer den Hals luftdicht abschließenden Schichte eines Kittes von der Zusammensetzung: 1 Teil Wachs + 1 Teil Schweinefett — versehen. Die Hypokotyle befestigte ich noch mittelst eines Wattepfropfens in dem oberen Teile des Glashalses gegen eventuelle Verschiebungen.

Die Gewichtsdifferenzen, welche die Wasserabgabe- und Aufnahme ersichtlich werden lassen, bestimmte ich täglich Vormittags möglichst zwischen 10 und 11 Uhr. Zu diesen Wägungen entfernte ich stets sowohl die fixierenden Wollefäden als auch die Wattepfropfen.

Resultat des Versuches Nr. 11.

Nr.	Wurzel			Sproß			
des Gefäßes	mittlere Länge der Hauptwurzel mm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit	mittlere Länge mm	mittl. Fläche eines Blattes qmm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit
I α	8,8	4,5	Die Seitenwurzeln sind großenteils abgestorben. — Alle Wurzeln sind krank	61	4	13	Alle Sprosse sind abgeknickt, abgedreht oder abgebrochen. Zwei Pflanzen sind tot; die übrigen am Absterben infolge von mechanischen Verletzungen.
I β	8,3	6	Gesund	83	*10	32	Gesund.
II α	7	7	desgl.	85	18	38	desgl.
II β	7,5	6,5	desgl.	91	21	40	desgl.
III	13,5	12	desgl.	108	25	71	desgl.

* Vollständige Fixage der Blätter war nicht möglich.

Versuch Nr. 12.

Einfluß der Bewegung der Sprosse.

5 mit Nährlösung versehene Gläser wurden wie vor mit annähernd gleichen 3 Tage alten Exemplaren von Cannabis sativa bestellt.

Die Bezeichnungen und Windgeschwindigkeiten sind dieselben wie in Versuch Nr. 11.

Die Zeitdauer währte vom 28. Mai bis incl. 12. Juni 1906.

Resultat des Versuches Nr. 12.

Nr.	Wurzel			Spross			
des Gefäßes	mittlere Länge der Hauptwurzel mm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit	mittlere Sproßlänge mm	mittl. Fläche eines Blattes qmm	pro Pflanze Trockengewicht mg	Beschaffenheit
I α	$5,_7$	39	Tot oder absterbend	$4,_5$	8	19	Die in die bewegte Außenluft ragenden Stengel und Blätter sind durch Abdrehung, Knickung, Quetschung, Bruch und Abschürfung zum Absterben gebracht.
I β	$6,_8$	72	Gesund	$6,_5$	*35	45	Gesund.
II α	$6,_5$	118	desgl.	$5,_8$	38	43	desgl.
II β	$6,_7$	95	desgl.	$7,_6$	52	57	desgl.
III	$13,_5$	205	desgl.	$8,_8$	80	106	desgl.

* Völlige Fixage der Blätter ist nicht möglich gewesen.

Resultate betreffend das Wachstum im Winde.

1.

Wind veranlaßt im allgemeinen ein Sinken der Intensität des Pflanzenwachstums.

2.

Mit steigender Windgeschwindigkeit fällt die Zuwachsgröße.

3.

Mit der Minderung des Wachstums der oberirdischen Sproßteile geht stets auch ein Zurückbleiben der Wurzel an Größe und Substanzgewicht Hand in Hand.

4.

Ausschlaggebend für den Grad der Zuwachsminderung einer Pflanze oder eines Pflanzenteiles bei genügender Wurzelfeuchtigkeit ist die mechanische Widerstandskraft: Biegungsfestere Sproßteile wachsen bei denselben Windstärken noch befriedigend zu, bei welchen schwächer gebaute kümmern.

5.

Die das Pflanzenwachstum im Winde retardierenden Momente ergeben sich aus dem Zusammenhalte der ausgeführten Versuche, und dürfte ihre Einflußnahme etwa nachstehender Reihenfolge in den meisten Fällen entsprechen:

a) Austrocknung des Bodens. —
b) Mechanische Verletzungen der Sproß- und Wurzelteile. —
c) Erhöhung der Transpiration im Verein mit einer durch mechanische Beanspruchung bedingten Alteration der hydrostatischen Verhältnisse der Wasser führenden Elemente.
d) Erniedrigung der Temperatur des Bodens und des oberirdischen Pflanzenkörpers.
e) In gewissem Grade darf der verminderten Assimilationstätigkeit der Blattorgane infolge ungünstiger Lichtstellung usw. (vgl. Teil II. Kap. 1 c) eine Schuld an dem Wachstumsrückgang im Winde beigemessen werden.

Kapitel 5.

Entstehung der Windpflanzenformen.

Als hauptsächlichste charakteristische Kennzeichen von Pflanzen, welche Örtlichkeiten mit stark bewegter Atmosphäre bewohnen, haben **relative Kleinheit**, sowie **anormale Sproßform** zu gelten. [1])

[1]) Vergl. Abschnitt I.

1. Die **allgemeine Zwerghaftigkeit** der Windpflanzen entspricht den Resultaten, welche ich bei den oben angeführten, das Wachstum im Winde betreffenden Versuchen erhielt; die Faktoren, welche dieses verminderte Wachstum verursachen, ergeben sich aus dem Zusammenhalte der ausgeführten Versuche als

a) Bodentrocknis,

b) Direkte Beschädigungen der Sproßorgane durch Trauma und erhöhte Transpiration, sowie die mechanische Verletzung der auf Zug und Druck beanspruchten Wurzelteile.

In gewissen Fällen mag wohl auch die Erniedrigung der Boden- und Körpertemperatur durch Wind eine Wachstumsretardierung veranlassen.

2. Die **anormale Form** der Stammteile wird durch verschiedenartige Vorgänge zustande gebracht:

a) Bei hochwachsenden Pflanzen tritt meist eine Neigung des Sproßsystems gegen die Leeseite hin in die Erscheinung, woran 2 verschiedenartige Bildungsweisen Schuld tragen können.

α) Der Stamm, welcher im übrigen völlig normal ausgebildet und beastet sein kann, hängt samt dem Wurzelstocke in größerem oder geringerem Neigungswinkel gegen die Leeseite über: Es war die Wurzelverankerung dem durch Hebelwirkung des Stammes auf die Hauptwurzeln übertragenen Winddrucke nicht gewachsen und gab bis zu einem gewissen Grade nach, — sei es durch relative Schwäche oder infolge der Eigenschaften des Substrates. Flachgründigkeit, Lockerheit, allzugroßer Wassergehalt oder auch schichtenweise Vereisung des Bodens begünstigen solche Verschiebungen des Wurzelstockes. Großer Wassergehalt der Erde bewirkt außerdem noch eine spärliche Verzweigung und geringes Längenwachstum der Wurzeln.[1]) Deshalb ist auch die Erscheinung des Windwurfes in feuchten Örtlichkeiten und quellenreichen Bergtälern außerordentlich häufig. —

Auf dem Grunde von Gewässern wurzelnde Pflanzen erhalten ebenfalls durch Lockerung des Substrates und Zerrungen der Wurzel eine Lageveränderung der letzteren und gegen lee geneigte Richtung des Stammes. —

Diese geschilderte Abnormität der ganzen Stammlage kann durch kurz dauernde Windstöße veranlaßt werden, und ist außerordentlich häufig anzutreffen.

β) Verholzende und verholzte Stammteile besitzen in gewissem Grade die Eigenschaft, eine ihnen aufgezwungene Biegung beizubehalten, sie sind plastisch. Diese Eigenschaft ist im allgemeinen umso größer, je feiner die Jahrringe sind. Besonders stark fand ich diese Plastizität bei Larix, am geringsten bei Picea; speziell die Gipfeltriebe gesunder Fichten

[1]) Vergl. die Versuche, das Wachstum im Winde betreffend.

sind äußerst widerstandsfähig gegen Biegung: Bei Belastungsversuchen, welche ich im Forstenriederparke bei München angestellt habe, trugen die Gipfeltriebe durchschnittlich mehr als die doppelte Belastung von Gewichtstücken ohne sich zu biegen, während die einfache Last die gleichalten Seitenzweige derselben Pflanze herabzog.

Biegt man solche kräftigen Triebe soweit ab, bis eine dauernde Ablenkung von der vorher eingenommenen Richtung erreicht werden würde, so tritt in fast allen Fällen ein Bruch der Gewebe ein, welcher baldigen Tod oder doch ein langwieriges Kränkeln des Sprosses im Gefolge hat. —

Kümmernde, unterdrückte und Hochgebirgsfichten jedoch, welche sehr feine Jahrringe bilden, lassen sich leicht durch vorübergehende Biegungen in die Druckrichtung ablenken und verharren auch mehr oder weniger in der gegebenen Lage.

Lange andauernde Biegung, wie sie durch Überbelastung hervorgerufen wird, verursacht die allmähliche Fixierung dieser Stammbiegung durch fortschreitendes Dickenwachstum.

Solche überbelastete Stämme hängen bei Vorhandensein einer Hauptwindrichtung regelmäßig gegen die Leeseite hin über. — Als Beispiele für diese letztere Erscheinung nenne ich schwanke, in dichtem Schlusse erwachsene Stangenhölzer, welche nach plötzlicher Freistellung oder Durchforstung durch Wind gegen lee hin dem Boden angedrückt werden. —

Mit Früchten überladene Pflanzen, wie Obstbäume, Fichten, Getreide ꝛc. verlieren durch das Gewicht der Frucht die Stabilität und werden durch Winddruck gegen die Leeseite hin fixiert.

Die gleiche Erscheinung rufen den Zweigen aufgelagerte Massen von Schnee, Eis ꝛc. hervor.

Unverholzte und krautige Sproßteile welken in der Regel an, sobald sie stärkeren Biegungen ausgesetzt werden, und hängen dann bei Aufhören des Windes schlaff herab. Nach Wiedererlangung des Turgors pflegen diese Sprosse die gleiche Lage einzunehmen wie zuvor. Eine dauernde Veränderung der Sproßform durch Biegungen vorübergehender Art konnte ich bei solchen krautigen Organen nicht konstatieren.

γ) Eine schiefe Stellung der Stammachse kann auch durch Tötung des jeweiligen Gipfeltriebes und Ersatz desselben durch einen der gewöhnlich kräftigeren leeseitigen Zweige zustande kommen. Der Gipfel nimmt dann eine nach lee gerückte exzentrische Lage ein. (Sympodium).

b) Durch eine größere Minderung des Wachstums respektive durch das völlige Absterben der windseitigen Sproßorgane wird der Habitus einer Pflanze im Winde stark alteriert. —

α) An diesem Nachteil der luvseitigen Äste ist einesteils die rein topographische Lage schuld: Diese Äste samt ihren Assimilationsorganen sind

dem ersten Ansturm des Windes ausgesetzt, und haben nach von mir angestellten Schätzungen bei Fichten oft mehr als das fünffache der Stammteile der Leeseite unter Wind zu leiden.

Bei einem Winde von der Geschwindigkeit 15 m pro Sekunde herrschte auf der Leeseite einer Fichte, deren Äste an der betreffenden Stelle zirka 1,5 m lang waren, eine Windgeschwindigkeit von höchstens 3 bis 4 m pro Sekunde.

β) Von großer Bedeutung für die Erklärung der verschiedenen Widerstandsfähigkeit der luv- und leeseitigen Organe gegen Wind ist die Stellung der Zweige und Blätter zu dem Winde:

Die luvseits befindlichen Pflanzensprosse werden in der Hauptsache auf Druck, die leeseits des Stammes befindlichen dagegen auf Zug beansprucht; da nun ein großer Unterschied der Festigkeit pflanzlicher Organe gegenüber Druck und Zug besteht, wobei die Zugfestigkeit oft das Vielfache der Druckfestigkeit erreicht, so befinden sich die leeseitigen Organe stets im Vorteil.

Ein Beispiel, daß auch dann, wenn die Äste der Luvseite entfernt sind, die leeseitigen Blätter und Zweige wenig leiden, bietet eine in Nähe des Meeres befindliche Laubholzallee in Katwijk a./S.[1])

Hier wurden alle luvseitigen Äste glatt vom Stamme entfernt, sodaß die leeseits befindlichen Blätter und Zweige die volle Wucht der Seewinde auszuhalten haben.

Trotzdem fand ich zu Anfang Oktober 1905 nach einigen Tagen sehr stürmischen Wetters keine irgendwie nennenswerten Windschäden.

Einseitige Beastung kann auch durch Hagel verursacht sein. (Vergl. Seite 87.)

c) Niederliegende, am Boden hinkriechende Sproßformen:

α) Bei den von mir ausgeführten Versuchen konstatierte ich in den verschiedenartigsten Fällen, daß unverholzte Pflanzenstengel bei durch Biegung und Bodentrocknis herbeigeführtem Turgormangel sich dem Boden mehr oder weniger auflagern, und in dieser Stellung bei Fortdauer der Schlaffheit der Gewebe langsam verholzen, sofern ein völliges Absterben durch genügende Bewässerung hintangehalten wird. —

In der Regel erscheinen die Stämmchen in die Windrichtung gezogen; jedoch sehr oft lagern dieselben nach allen möglichen Richtungen hin am Boden. — Als Grund für die letztere Erscheinung führe ich die stets zu machende Beobachtung an, daß der Wind durch die Unebenheiten des Erdbodens oft vollständig von der in den oberen Luftschichten herrschenden Richtung abgedrängt oder überhaupt so gebrochen wird, daß man aus der Lage der Pflanzenstengel keine Rückschlüsse auf die Herkunft des Windstromes ziehen kann.

[1]) Kleines Seebad in Holland.

c) Übermäßige Biegungen, welche ein Überdehnen oder Knicken des Sproßteiles im Gefolge haben, veranlassen in vielen Fällen Atrophie und niederliegende Wuchsform der betroffenen Organe.

d) Knorriger Wuchs wird oft durch äußere oder innere Verletzungen hervorgerufen, indem diese unter Callusbildung verheilen oder auch größere krebsartige Auswüchse veranlassen.

e) Die Erscheinung einer relativ großen Steifheit der Stammorgane wird hauptsächlich dadurch verursacht, daß die alten verholzten Stammteile der jüngeren Jahrestriebe häufig beraubt werden, und ohne diese schwächeren Endigungen starr in die Luft ragen. — Auch das langsame Längenwachstum trägt Schuld an dieser steifen Wuchsform.

Indirekt bewirkt der Wind durch Auslese der besonders widerstandsfähigen Pflanzenformen und Ausscheidung der übrigen weniger anpassungsfähigen oder von Natur aus angepaßten eine eigenartige Veränderung der Flora.

Niedrig wachsende und kleinbleibende Pflanzen, Pflanzen mit tiefstreichendem Wurzelsystem sowie mit kräftigen, steifen Stamm- und Blattorganen bleiben in Windgegenden im Kampfe ums Dasein Sieger.

Am Schlusse dieses Kapitels möchte ich noch bemerken, daß ich eine direkte **Reizwirkung** des Windes auf die Orientierung der Pflanzensprosse beziehungsweise die Wachstumsrichtung derselben **nicht** beobachten konnte.

In allen Fällen, in welchen ich abnorme Wuchsform oder Kleinbleiben der Windpflanzen konstatierte, lag der Grund an mechanischer Einwirkung, Störung der Stoffumsetzung und Nahrungsaufnahme.

In jedem Falle richtete sich das Wachstum lediglich nach den Gesetzen der bekannten Tropismen bezw. der inhärenten Anisotropie und wurde nur passiv in andere Bahnen gelenkt.

Schlußwort.

Die Anregung zu der Bearbeitung des vorliegenden Themas nach weiteren als bisher betrachteten Gesichtspunkten gab mir Herr Professor Dr. Noll, welcher mir auch die Mittel seines Institutes für die Durchführung der Versuche zur Verfügung stellte.

Für sein Entgegenkommen spreche ich ihm tiefgefühlten Dank aus.

Des weiteren bin ich Herrn Geheimrat Professor Dr. Strasburger für die erteilte Erlaubnis, ergänzende Versuche in dem botanischen Garten der kgl. Universität Bonn auszuführen, sowie Herrn Dr. Hecker, welcher mir die Ergebnisse seiner meteorologischen Beobachtungen zur Verfügung stellte, zu Dank verpflichtet.

Literatur.

Anderlind, „Über die Einwirkung des Salzgehaltes der Luft auf den Baumwuchs.“ Mündener forstl. Hefte, 1894, Heft 5.
Andersson, G., „Die Pflanzengeographie der Arktis.“ Geograph. Zeitschrift, Leipzig 1902.
Bargmann, „Die Verteidigung und Sicherung der Wälder gegen die Gewalt der Stürme.“ Frankfurt a. M. 1904.
Bebber, „Lehrbuch der Meteorologie.“ Stuttgart 1890.
Beccari, „Nelle foreste di Borneo.“ Florenz 1902.
Beck, G., „Flora von Hernstein in Niederösterreich und der weiteren Umgebung.“ Herausgeg. von M. A. Becker. Wien 1884.
— „Die Vegetationsverhältnisse der illyrischen Länder.“ Erschienen in „Die Vegetation der Erde“ von Engler und Drude. Leipzig 1901.
Behrens, „Physiologische Studien über den Hopfen.“ Flora 1894. Bd. 78.
Blücher, „Die Luft.“ Leipzig 1900.
— „Das Wasser.“ Leipzig 1900.
Böhm, „Meerwassersalz in der Luft.“ Zentralbl. f. d. gesamte Forstwesen. 1889.
Borggreve, „Über die Einwirkung des Sturmes auf die Baumvegetation.“ Abhandl. nat. Ver. Bremen 1873.
— „Zur Wirkung des Seewindes auf den Waldwuchs.“ Forstliche Blätter. 1890.
Buchenau, „Bemerkungen über die Flora der ostfriesischen Inseln. Abhandl. nat. Ver. Bremen 1871.
— „Über die ostfriesischen Inseln und ihre Flora. Verh. d. XI. Deutsch. Geographentages zu Bremen 1895.
Burgerstein, „Die Transpiration der Pflanzen.“ Jena 1904.
Büsgen, Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena 1897.
Caspary, „Beschädigung der Roßkastanienblätter durch Reibung mittelst Wind.“ Bot. Zeitung 1869.
Eberdt, „Die Einwirkung innerer und äußerer Bedingungen auf die Transpiration der Pflanzen.“ Prometheus 1895.
Eifert, „Forstliche Sturmbeobachtungen im Mittelgebirge.“ Allg. Forst- u. Jagdzeitung 1903.
Emeis, „Über ungünstige Einflüsse von Wind und Freilage auf unsere Bodenkultur. Allg. Forst- u. Jagdzeitung. Igge 1902, 1903, 1905.
Erb, „Winterkuren im Hochgebirge.“ Leipzig 1900.
Focke, „Untersuchungen über die Vegetation des nordwestdeutschen Tieflandes.“ Abh. nat. Ver. Bremen 1871.

— „Einige Bemerkungen über Wald und Heide." Abh. nat. Ver. Bremen 1873.
Frank, „Die Krankheiten der Pflanzen." Breslau 1895.
Friedrich, „Über den Salzgehalt der Seeluft." Deutsche Medizinalzeitung 1890.
Frischauf, „Die Insel Arbe." Zeitschr. deutsch. öst. Alpenvereins. 1888.
Früh, „Die Abbildung der vorherrschenden Winde durch die Pflanzenwelt." Jahresbericht der Geographisch-ethnographischen Gesellschaft. Zürich 1902.
Futterer, „Der Pe-schan als Typus der Felsenwüste." Geogr. Zeitschrift. Leipzig 1902.
Gerhardt, „Handbuch des deutschen Dünenbaues." 1900.
Göbel, „Beiträge zur Morphologie und Physiologie des Blattes." Bot. Zeitung. 1880.
Haberlandt, Anatomisch physiologische Untersuchungen über das tropische Laubblatt." Sitz.-Ber. K. K. Ak. Wiss. Wien 1892.
Hann, „Handbuch der Klimatologie. Stuttgart 1897.
— „Lehrbuch der Meteorologie." 1904.
Hansen, „Die Vegetation der ostfriesischen Inseln." Darmstadt 1901
— „Abwehr und Berichtigung ꝛc." Gießen 1902.
— „Experimentelle Untersuchungen über die Beschädigung der Blätter durch den Wind." Gießen 1903.
— Desgl. Flora 1904.
Hansgirg, „Phyllobiologie." Leipzig 1903.
— „Über die Schutzeinrichtungen der jungen Laubblätter (Mittelblätter) und der Keimblätter." Beih. z. Bot. Zentralbl. 1903.
Hartig, Lb. d. Pflanzenkrankheiten. Berlin 1900.
Hartz, „Ostgrönlands Vegetationsforhold." Meddelelser om Grönland; Attende Hefte. Kopenhagen 1895.
Haselhoff und Lindau, „Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch." Leipzig 1903.
Hensele, „Untersuchungen über den Einfluß des Windes auf den Boden." Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. 16. 1893.
Heß, „Der Forstschutz." Leipzig 1900.
Hildebrand, „Die Lebensdauer und Vegetationsweise der Pflanzen, ihre Ursachen und ihre Entwickelung." Englers botanisches Jahrbuch. Bd. II. 1882.
Jost, „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie." Jena 1904.
Jungner, „Klima und Blatt in der Regio alpina." Flora 1894.
Kerner, Pflanzenleben." 1896.
Kihlman, „Pflanzenbiologische Studien aus Russisch-Lappland." Helsingfors 1890.

Klinge, über den Einfluß der mittleren Windrichtung auf das Verwachsen der Gewässer." Englers bot. Jahrb. 1890. Bd. XI.

Knuth, „Über die Insel Sylt." Humboldt 1888.

König, „Die Verteilung des Wassers." Jena 1901.

— „Der Staubfall vom 9.—12. März 1901. Geograph. Zeitschr. 1902.

Kurz, „Aucklandsinseln." Verh. bot. Ver. Provinz Brandenburg 1876/77.

Leist, „über den Einfluß des alpinen Standorts auf die Ausbildung der Laubblätter." Mitt. naturf. Ges. Bern 1890.

Metzger, „Der Wind als maßgebender Faktor für das Wachstum der Bäume." Münd. forstl. Hefte 1893. Heft 3.

— „Studien über den Aufbau der Waldbäume und der Bestände nach statischen Gesetzen." Münd. forstl. Hefte 1894. Heft 5.

Meyen, „Grundriß der Pflanzengeographie." Berlin 1836.

Middendorf, „Reise in den äußersten Norden und Osten Sibirens." 4. Lieferung. Petersburg 1864.

Molisch, „Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen." Lit. Bericht im Bot. Zentralblatt. 1898.

Nöldeke, „Flora der ostfriesischen Inseln mit Einschluß von Wangeroog." Abh. nat. Ver. Bremen 1873.

Oger, „Untersuchungen über den Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Struktur der Stengel und Blätter." Forsch. aus dem Geb. der Agrikulturphysik 1893. Bd. 16.

Pax, „Das Leben der Alpenpflanze." Zeitschr. deutsch-öst. Alpenverein. Bd. 29. 1898.

Prantl, „Studien über Wachstum, Verzweigung und Nervatur der Laubblätter." Ber. deutsch. bot. Ges. 1883.

Ramann, „Bodenkunde." Berlin 1904.

Reiche, „über polster- und deckenförmig wachsende Pflanzen. Santiago 1893.

Reinke, „Ein Beitrag zur Kenntnis leicht oxydierbarer Verbindungen des Pflanzenkörpers." Zeitschr. f. physiologische Chemie. Bd. 6. 1882.

Riefkohl, „Die Insel Norderney." Hannover 1861.

Rikli, Botanische Reisestudien auf einer Frühlingsfahrt durch Korsika." Zürich 1903.

Roder, „Die polare Waldgrenze." Dresden 1895.

Sachs, „Beiträge zur Physiologie des Chlorophylls." Flora 1863.

— „Lehrbuch der Botanik." Leipzig 1868.

— Desgl. Leipzig 1870.

Schiller-Tietz, „Die Bedeutung der Schneedecke im Haushalte der Natur." Prometheus VII. 1896.

Schimper, „über Schutzmittel des Laubes gegen Transpiration." Sitz.-Ber. K. pr. Ak. Wiss. Berlin 1890.

— „Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage." Jena 1898.

Schleh, „über die Bedeutung des Wassers in den Pflanzen." Inaug.-Diss. Leipzig 1874.

Schwendner, „Das mechanische Prinzip." Leipzig 1874.

Stahl, „über den Einfluß des sonnigen oder schattigen Standorts auf die Ausbildung der Laubblätter. Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft 1883. Bd. 16.

— „Regenfall und Blattgestalt." Leiden 1893.

Storp, „Beiträge zur Erklärung der an den Seeküsten hervortretenden Schädigungen des Baumwuchses." Forstl. Blätter 1891.

Strasburger, Noll, Schenk, Karsten, „Lehrbuch der Botanik für Hochschulen." Jena 1905.

— „Streifzüge an der Riviera." Jena 1904.

Strobl, „Aus der Frühlingsflora und Fauna Illyriens." Verh. zool. bot. Ver. Wien. Bd. XXII. 1872.

Volkens, „Die Vegetation der Karolinen mit besonderer Berücksichtigung der von Yap. Englers bot. Jahrb. 1902. Nr. 31.

Wagner, „Zur Kenntnis des Blattbaues der Alpenpflanzen und dessen biologischer Bedeutung." Sitz.-Ber. K. K. Ak. Wiss. Wien 1892.

Walter, „Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit." Geogr. Zeitschr. 1902.

Warming, „Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie." Berlin 1902.

— „Der Wind als pflanzengeographischer Faktor." Englers bot. Jahrb. Bd. 31. 1902.

— „Die Windfrage." Englers bot. Jahrb. Bd. 32. 1903.

Weise, „Die Wirkung des Nebenbestandes und des Windes auf die Beastung der Bestände. Aus dem Walde 1887.

Wessely, „Das Karstgebiet Militärkroatiens und seine Rettung, dann die Karstfrage überhaupt." Agram 1876.

Westermayer, „über Spaltöffnungen und ihre Nebenapparate." Bot. Unters., S. Schwendener zum 10. II. 1899 dargebracht. Berlin 1899.

Wiesner, „Versuche über den Ausgleich des Gasdruckes in den Geweben der Pflanzen." Sitz.-Ber. K. K. Ak. Wiss. Wien 1879.

— „Grundversuche über den Einfluß der Luftbewegung auf die Transpiration der Pflanzen." Sitz.-Ber. K. K. Ak. Wiss. Wien 1887.

Wollny, „Untersuchungen über den Einfluß der Struktur des Bodens auf dessen Feuchtigkeitsverhältnisse." Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. 16. 1893.

ψ ψ

Vita.

Als Sohn des Apothekers und Mitgliedes des königl. Kreismedizinal-ausschusses der Pfalz und des Apothekergremiums Karl Bernbeck † und dessen Gemahlin Fanny, Tochter des hessischen Staatsrates F. Küchler (in Gießen), wurde ich Oskar Erich Gustav Bernbeck — evangelischer Konfession — am 1. Juli 1877 zu Germersheim geboren.

Meine Schulbildung erlangte ich in der Bürgerschule zu Ludwigshafen a/Rh. sowie an der dortigen lateinischen Schule und an dem königl. Luitpoldgymnasium München, woselbst ich im Jahr 1896 das Gymnasialabsolutorium bestand. (Absolutorialzeugnis vom 14. Juli 1896.)

Nunmehr widmete ich mich dem Studium der Forstwissenschaft 4 Semester an der königl. forstlichen Hochschule Aschaffenburg und 4 Semester an der Universität München. Im Jahre 1900/1901 genügte ich als Einjährig-Freiwilliger der militärischen Dienstpflicht.

Die folgenden Jahre 1901—1904 verbrachte ich an königl. bayerischen Forstämtern und an der Regierung von Oberbayern zu München zwecks Ableistung der für den königl. bayerischen Staatsforstverwaltungsdienst vorgeschriebenen dreijährigen Vorbereitungspraxis und bestand im Jahre 1904 den Staatskonkurs.

Auf Ansuchen bewilligte mir das königl. bayerische Staatsministerium der Finanzen, Ministerialforstabteilung zeitweiligen Urlaub zu Zwecken privater wissenschaftlicher Studien, welche ich 1 Semester an der Universität München und weitere 5 Semester an der Universität Bonn bezw. an der Landwirtschaftlichen Akademie Bonn-Poppelsdorf durchführte.

Meine Hochschullehrer waren die Herren Professoren bezw. Dozenten Bohn, Conrad, Dingler, Dotzel, v. Fürst, Müller, Schleiermacher, Spangenberg in Aschaffenburg; Berten, Brentano, Ebermayer, Endres, Gruber, Hahn, Hartig, Mayr, v. Mayr, Schmitt, Seitz, Frhr. v. Stengel, Weber in München; Binz, Karsten, Körnicke, Laspeyres, Noll, Pohlig, Rein, Strasburger in Bonn.

Die mündliche Promotionsprüfung bestand ich am 19. Juni 1907.


UTL AT DOWNSVIEW
D RANGE BAY SHLF POS ITEM C
39 10 15 23 05 002 0